



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**Selección y dimensionamiento del sistema  
de almacenamiento de energía de una  
microrred aislada**

Autor:

Moretón Rodríguez, Javier

Tutor: Martínez Rodrigo, Fernando

Departamento: Tecnología Electrónica

Valladolid, junio de 2022



Universidad de Valladolid

# Selección y dimensionamiento del sistema de almacenamiento de energía de una microrred aislada



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## Resumen

Cada vez es más importante la integración de las energías renovables en nuestra forma de generar energía. Esto conlleva al problema de que no siempre que necesitamos consumir energía hay sol o sopla el viento, por lo que se recurre a los acumuladores, que almacenan la energía cuando hay un exceso de generación, y la consumen cuando es necesario. Pero, al tratarse de uno de los componentes más caros de la instalación, hay que seleccionar correctamente la tecnología que más conviene para nuestro caso concreto.

En el presente TFG vamos a analizar diferentes tecnologías para almacenar energía desarrollando sus características, peculiaridades y diferencias para finalmente ser capaces de entender qué tipos de tecnologías se van a adaptar a casos concretos de microrredes aisladas.

Además, acompañando a este documento hay una aplicación creada en el programa Access cuyo objetivo, es dar soluciones de almacenamiento para una microrred concreta.

## Abstract

The integration of renewable energies in our way of generating energy is becoming increasingly important. This leads to the problem that not always when we need to consume energy the sun is out or the wind is blowing, so accumulators are used to store energy when there is excess generation and consume it when necessary. But, as it is one of the most expensive components of the installation, it is necessary to correctly select the technology that is most suitable for our specific case.

In this TFG we are going to analyze different technologies to store energy, developing their characteristics, peculiarities, and differences to finally be able to understand what kind of technologies are going to be adapted to specific cases of isolated microgrids.

In addition, accompanying this document is an application created in the Access program whose objective is to provide storage solutions for a specific microgrid.



Universidad de Valladolid

## Selección y dimensionamiento del sistema de almacenamiento de energía de una microrred aislada



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Palabras clave

Microrredes; Almacenamiento; Baterías; Generación Renovable; Energías Renovables.

Key words

Micro Networks; Storage; Batteries; Renewable Generation; Renewable energy.



Universidad de Valladolid

## Selección y dimensionamiento del sistema de almacenamiento de energía de una microrred aislada



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



índice general

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
<b>3. ARQUITECTURA DE LAS MICRORREDES.....</b>	<b>15</b>
3.1. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD DENTRO DE LAS MICRORREDES .....	16
3.2. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DENTRO DE LA MICRORRED .....	17
3.3. GESTIÓN DE LA CARGA DENTRO DE LAS MICRORREDES .....	18
3.4. CONTROL Y COMUNICACIÓN DENTRO DE LAS MICRORREDES .....	18
3.5. CONMUTADORES INVERSORES Y OTROS EQUIPOS.....	19
3.6. GENERACIÓN DE ENERGÍA .....	20
3.6.1. <i>Energía geotérmica</i> .....	21
3.6.2. <i>Energía solar térmica</i> .....	24
3.6.3. <i>Energía fotovoltaica</i> .....	26
3.6.4. <i>Energía eólica</i> .....	27
3.6.5. <i>Energía mareomotriz</i> .....	28
3.6.6. <i>Energía hidráulica</i> .....	29
<b>4. ESTADO DEL ARTE DE LOS DISTINTOS ALMACENAMIENTOS DE ENERGÍA .....</b>	<b>32</b>
4.1. ALMACENAMIENTOS ELECTROQUÍMICOS .....	32
4.1.1. <i>Baterías</i> .....	32
4.1.1.1. <i>Baterías de Plomo Ácido</i> .....	34
4.1.1.2. <i>Baterías de Níquel Cadmio</i> .....	35
4.1.1.3. <i>Baterías de Níquel Hidruro Metálico</i> .....	37
4.1.1.4. <i>Baterías de iones de litio</i> .....	38
4.1.1.5. <i>Baterías de litio metal</i> .....	39
4.1.2. <i>Baterías de flujo</i> .....	39
4.1.3. <i>Pila de combustible</i> .....	40
4.2. ALMACENAMIENTOS ELÉCTRICOS.....	41
4.2.1. <i>Condensadores</i> .....	42
4.2.2. <i>Almacenamiento de energía en superconductores magnéticos (SMES)</i> .....	42
4.3. ALMACENAMIENTO MECÁNICO.....	43
4.3.1. <i>Mediante aire comprimido (CAES “Compressed Air Energy Storage”)</i> .....	43
4.3.2. <i>Almacenamiento de energía en volantes de inercia (FES)</i> .....	44
4.3.3. <i>Almacenamiento basado en bombeo hidráulico</i> .....	45
4.4. ALMACENAMIENTO TÉRMICO.....	46
<b>5. ANÁLISIS DE DISTINTAS TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO PARA MICRORREDES... 48</b>	<b>48</b>
5.1. TIPOS DE INSTALACIONES .....	48
5.2. BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS PARA MICRORRED.....	49
5.2.1. <i>Baterías de Plomo-Ácido</i> .....	50
5.2.1.1. <i>Baterías de plomo ácido abierto (VRL)</i> .....	50
5.2.1.2. <i>Baterías plomo ácido AGM (Absorbent Glass Mat)</i> .....	53
5.2.1.3. <i>Baterías Plomo Ácido tipo gel</i> .....	56
5.2.2. <i>Baterías estacionarias</i> .....	58
5.2.2.1. <i>Baterías estacionarias OpzS</i> .....	59
5.2.2.2. <i>Baterías CPzS y TOPzS</i> .....	61
5.2.2.3. <i>Baterías OpzV</i> .....	63
5.2.2.4. <i>Baterías estacionarias de 6V</i> .....	65
5.2.3. <i>Baterías de Ion-Litio</i> .....	66
5.3. ALMACENAMIENTO EN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE BOMBEO .....	68
5.4. ALMACENAMIENTO EN CAVIDADES DE AIRE COMPRIMIDO (C.A.E.S.).....	72



5.5.	ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA.....	73
5.6.	BATERÍAS DE FLUJO.....	75
5.6.1.	<i>Baterías de solución salina (Sodio)</i> .....	75
5.6.2.	<i>Baterías de Hierro</i> .....	75
5.6.3.	<i>Baterías de Vanadio</i> .....	76
5.7.	ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN VOLANTES DE INERCIA.....	78
<b>6.</b>	<b>CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALMACENAMIENTO .....</b>	<b>80</b>
6.1.	DIMENSIONAMIENTO DE LA MICRORRED .....	80
6.1.1.	<i>Cálculo de generación solar</i> .....	80
6.1.2.	<i>Cálculo de generación eólica</i> .....	82
6.1.3.	<i>Demanda de energía</i> .....	84
6.2.	SELECCIÓN DEL TIPO DE SISTEMA DE ALMACENAMIENTO .....	85
6.3.	SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE BATERÍAS ELECTROQUÍMICAS .....	88
<b>7.</b>	<b>APLICACIÓN ACCESS DE SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO .....</b>	<b>95</b>
7.1.	OBJETIVO DE LA APLICACIÓN .....	95
7.2.	FUNCIONAMIENTO .....	95
7.3.	ARQUITECTURA INTERNA DE APP ACCESS .....	102
7.4.	CONCLUSIÓN.....	106
<b>8.</b>	<b>CASOS PRÁCTICOS DE SELECCIÓN DE ALMACENAMIENTO .....</b>	<b>107</b>
8.1.	CASO PRÁCTICO 1.....	107
8.1.1.	<i>Dimensionamiento de la microrred</i> .....	107
8.1.2.	<i>Selección de sistema de almacenamiento</i> .....	109
8.1.3.	<i>Selección de tecnología de baterías y dimensionamiento</i> .....	110
8.1.4.	<i>Resultados de aplicación Access</i> .....	113
8.2.	CASO PRÁCTICO 2.....	116
8.2.1.	<i>Dimensionamiento de la microrred</i> .....	116
8.2.2.	<i>Selección de sistema de almacenamiento</i> .....	118
8.2.3.	<i>Selección de tecnología de baterías y dimensionamiento</i> .....	118
8.2.4.	<i>Resultado de aplicación Access</i> .....	120
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>124</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>125</b>



Índice de figuras.

Figura 3.1: Estructura de una Microrred. .... 16

Figura 3.2: Arquitectura básica de sistema SCADA. .... 19

Figura 3.3: Instalación aislada de Inversor Victron Phoenix y baterías de gel. .... 20

Figura 3.4: Central geotérmica de Velika Ciglena. .... 23

Figura 3.5: Geotermia con captación horizontal. .... 23

Figura 3.6: Gráfica de % de generación solar térmica en España. .... 24

Figura 3.7: Gráfica de energía solar térmica generada en España. .... 25

Figura 3.8: Planta solar térmica Gemasolar, Fuentes de Andalucía, España. .... 25

Figura 3.9: Gráfica de % de generación fotovoltaica en España. .... 26

Figura 3.10: Gráfica de la energía fotovoltaica generada en España. .... 27

Figura 3.11: Gráfica de % de generación eólica en España. .... 28

Figura 3.12: Gráfica de la energía eólica generada en España. .... 28

Figura 3.13: Principales países productores de energía hidráulica. .... 30

Figura 3.14: Gráfica de % de generación hidráulica en España. .... 30

Figura 3.15: Gráfica de energía hidráulica generada en España. .... 31

Figura 4.1: Diagrama de Ragone. .... 32

Figura 4.2: Batería de Níquel Cadmio de Empresa Changhong. .... 37

Figura 4.3: Arquitectura de sistema de almacenamiento SMES. .... 43

Figura 4.4: Esquema de planta de almacenamiento de energía mediante aire comprimido. .... 44

Figura 4.5: Esquema de un sistema de almacenamiento hidráulico. .... 46

Figura 4.6: Proceso de almacenamiento de energía en forma de energía térmica. .... 47

Figura 5.1: Diferentes tecnologías por tiempo de descarga y potencia. .... 48

Figura 5.2: Generación eólica y solar y almacenamiento en baterías. .... 50

Figura 5.3: Batería 250Ah 12V UPower SPO250. .... 53

Figura 5.4: Batería AGM 12V 300Ah Tensite. .... 55

Figura 5.5: Batería GEL MK 8G8D 225Ah 12V. .... 58

Figura 5.6: Baterías Hoppecke OPzS 4340. .... 61

Figura 5.7: Comparativa CPzS, OPzS y TOPzS. .... 62

Figura 5.8: Batería OPzV de la empresa BAE 1900Ah. .... 65

Figura 5.9: Central de Bath County. Estados Unidos. .... 69

Figura 5.10: Central de Entracque, Italia. .... 70

Figura 5.11: Complejo hidroeléctrico de Cortes-La Muela. .... 71

Figura 5.12: Esquema de almacenamiento CAES adiabático a volumen constante. .... 73

Figura 5.13: Globos submarinos para almacenamiento de aire comprimido. .... 73

Figura 5.14: Central termosolar con almacenamiento de energía térmica. .... 74

Figura 5.15: Contenedor de baterías de solución salina de Jena Bateries. .... 75

Figura 5.16: Batería de flujo de Hierro fabricada por ESS Inc. .... 76

Figura 5.17: Esquema del funcionamiento de batería de flujo de Vanadio. .... 77

Figura 5.18: Batería de flujo de Vanadio de VoltStorage. .... 78

Figura 5.19: Vista de FES en Stephentown, Nueva York. .... 79

Figura 6.1: Gráfico de potencia de aerogenerador E200 ENAIR. .... 83

Figura 6.2: Gráfica de distribución del consumo de energía. .... 85

Figura 7.1: App Access; pantalla de inicio. .... 95

Figura 7.2: App Access; selección de la tecnología de almacenamiento. .... 97

Figura 7.3: App Access; resultado de selección de la tecnología de almacenamiento. .... 98

Figura 7.4: App Access; dimensionamiento de la microrred. .... 99

Figura 7.5: App Access; datos obtenidos del dimensionamiento de la microrred. .... 100

Figura 7.6: App Access; catálogo de baterías. .... 101

Figura 7.7: App Access; añadir nueva batería al catálogo. .... 102

Figura 7.8: App Access; Formularios. .... 103

Figura 7.9: App Access; Tablas. .... 104





Figura 8.1: Panel solar Vertex 600. ....	107
Figura 8.2: Aerogenerador ENAIR E200. ....	108
Figura 8.3: Batería, Gel 2V 1900Ah BAE C100 (OPzV). ....	112
Figura 8.4: App Access; Dimensionamiento de la microrred. Caso práctico 1.....	114
Figura 8.5: App Access; Selección de tecnología de almacenamiento. Caso práctico 1.....	114
Figura 8.6: App Access; Batería del catálogo. Caso práctico 1. ....	116
Figura 8.7: Batería de Pylontech, 24V UP2500. ....	119
Figura 8.8: App Access; Dimensionamiento de la microrred. Caso práctico 2.....	121
Figura 8.9: App Access; Datos obtenidos del dimensionamiento. Caso práctico 2. ....	121
Figura 8.10: App Access; Selección de tecnología de almacenamiento. Caso práctico 2. ....	122
Figura 8.11: App Access; Batería del catálogo. Caso práctico 2.....	123



Índice de tablas.

Tabla. 1: Características panel solar.....	81
Tabla. 2: Condiciones STC. ....	81
Tabla. 3: Condiciones NOCT. ....	81
Tabla. 4: Irradiancia Valladolid 11 de mayo 2022 por hora.....	82
Tabla. 5: Velocidad del viento Valladolid 11 de mayo 2022, por hora. ....	84
Tabla. 6: Distribución del consumo de energía aproximado de una vivienda por horas. ....	85
Tabla. 7: Tabla de las características de distintos sistemas de almacenamiento.....	86
Tabla. 8: Tabla de composición y riesgos de las tecnologías de baterías electroquímicas. ....	89
Tabla. 9: Tabla de la profundidad de descarga de tecnologías de baterías electroquímicas. .	91
Tabla. 10: Tabla de los costes de baterías electroquímicas. ....	92
Tabla. 11: Otras características de las tecnologías de baterías electroquímicas.....	93
Tabla. 12: Análisis experimental de algunas características de tecnologías de baterías. ....	94
Tabla. 13: Resumen dimensionamiento de microrred. Caso práctico 1. ....	109
Tabla. 14: Características de batería GEL 2V 1900Ah BAE C100 (OPzV). ....	111
Tabla. 15: Acumulación de baterías. Caso práctico 1. ....	113
Tabla. 16: Resumen dimensionamiento de microrred. Caso práctico 2. ....	117
Tabla. 17: Características de batería 24V UP2500 de la empresa Pylontech. ....	119
Tabla. 18: Acumulación de baterías. Caso práctico 2. ....	120



Universidad de Valladolid

## Selección y dimensionamiento del sistema de almacenamiento de energía de una microrred aislada



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES



## 1. Introducción

Actualmente nos encontramos en una carrera por la descarbonización de las economías de una gran cantidad de países. Por su parte, España se encuentra dentro de los países comprometidos con alcanzar las emisiones cero para el año 2050. Uno de los objetivos de la Agenda 2030, impulsada por el gobierno, clama porque todas las personas tengan acceso a fuentes de energía limpias que contribuyan en la lucha contra el cambio climático.

Entre los métodos de reducción de las emisiones, se encuentra el de sustituir la obtención de energía convencional, por la obtención de las energías de fuentes renovables, pero, presentan el problema de que no son capaces de generar energía de forma continua y no es fácil predecir las horas en que se va a generar. Por ello, es importante el desarrollo del almacenamiento de energía, para otorgar flexibilidad al sistema eléctrico y así, dar apoyo al crecimiento significativo de la generación renovable.

España tiene como objetivo alcanzar para el año 2030, 8.3 GW de almacenamiento y para 2050, 30 GW. Actualmente se encuentra con una infraestructura de almacenaje que permite almacenar 8.3 GW, un valor, que se encuentra lejos aún de cumplir los objetivos. No contar con el almacenamiento suficiente, implicaría tener que sobredimensionar la potencia renovable para garantizar el suministro. En centrales de bombeo existen suficientes proyectos para cubrir los objetivos, pero en baterías solo hay 10MW instalados frente al objetivo de 2.5GW que se prevé para 2030, por ello, España, va retrasada en objetivos de descarbonización, y en especial en almacenamiento en baterías.

A lo largo del presente trabajo desarrollaremos distintos tipos de sistemas de almacenamiento existentes, ofreciendo información acerca de cada uno de ellos y sus características, los analizaremos y ofreceremos soluciones para casos concretos de necesidad de almacenaje. En especial nos centraremos en las baterías electroquímicas y en explicar las diferentes tecnologías que pertenecen a este sistema.

Partiremos de una microrred aislada en la que tendremos generación eólica y solar, junto con una demanda de energía. Seleccionaremos la tecnología de baterías que mejor servicio nos pueda dar y estudiaremos la posibilidad de instalar un sistema de almacenamiento complementario. Después, dimensionaremos la microrred con el objetivo de poder dimensionar también el sistema de almacenamiento, decidiendo la potencia de cada batería instalada, el número de baterías, y, por tanto, la energía total almacenada. Finalmente podremos decidir una batería concreta que nos pueda ofrecer el servicio suficiente para que nuestra microrred, funcione de la manera más optimizada posible.

Se exponen diferentes herramientas que permiten facilitar el proceso de selección de tecnologías y sistemas de almacenaje. Una de estas herramientas son tablas en las que se recogen las características y diferencias de cada una



de las posibles tecnologías. Otra de las herramientas y la más importante es una aplicación creada en el programa Access.

La aplicación está formada por un conjunto de tablas de datos y formularios combinados a través de código de programación VBA. El conjunto resulta en una aplicación con distintas pantallas que nos van a permitir, tanto seleccionar las tecnologías de baterías y sistemas de almacenamiento, como dimensionar la microrred y dimensionar el sistema de almacenamiento. Además, la aplicación cuenta con un catálogo de baterías de distintos fabricantes, y nos otorga la posibilidad de ampliar el catálogo con las baterías que queramos de una manera simple.

El funcionamiento de la aplicación se desarrolla en el presente trabajo, y se exponen varios casos prácticos en los que se comparan los resultados obtenidos de manera manual mediante la teoría y las tablas y, lo obtenido mediante la aplicación.



## 2. Objetivos

El objetivo general, consiste en alcanzar lo estipulado tanto en la Agenda 2030, como, en el acuerdo de emisiones cero programado para 2050. Para ello debemos desarrollar y aumentar los sistemas de almacenamiento y en concreto el de las baterías electroquímicas, ya que España, se encuentra muy lejos del objetivo de almacenamiento estipulado por la Agenda 2030, que es el de almacenar 2.5GW de energía en baterías.

El objetivo principal del presente TFG es el de apoyar la instalación de sistemas de almacenamiento, en concreto de baterías electroquímicas en microrredes aisladas. La microrred contará con generación solar, generación eólica, y cargas. A partir de unos datos de entrada o de unas características requeridas del sistema de almacenamiento, decidiremos que sistema o tecnología es adecuado para nuestro caso concreto. Analizaremos las distintas alternativas y estudiaremos la viabilidad de estas para decidir una tecnología adecuada.

Otro objetivo es el de despiezar la estructura interna de las microrredes, comprendiendo la importancia de la instalación de un sistema de almacenaje de energía compatible y bien dimensionado, para dar servicio al consumidor de la energía.

También debemos comprender los distintos sistemas y tecnologías de almacenamiento de energía, dimensionarlos y ser capaces de diferenciarlos mediante sus distintas características y peculiaridades.

Debemos ser capaces de dimensionar una microrred que cuenta con generación eólica, solar y con demandas de energía. Analizaremos los momentos en los que nuestra generación no es capaz de suplir la demanda energética y dimensionaremos un sistema de baterías compatible para suplir esa demanda. Para ello nos ayudaremos de distintas herramientas que desarrollamos en el presente trabajo, entre las que destaca una aplicación creada en el programa Access.



### 3. Arquitectura de las Microrredes

Una Microrred consiste en un conjunto de cargas y generadores que actúan como un único sistema y suministran energía eléctrica a pequeña escala. Los componentes principales que integran una Microrred son; un sistema de baja tensión junto con fuentes de generación, y un sistema de almacenamiento.

Una gran ventaja de las Microrredes es que pueden operar de forma autónoma de la red principal de suministro de energía y, a este modo de operar, le denominaremos modo isla. También pueden actuar unidas a la red principal y gracias a un sistema inteligente de gestión de la energía, sólo consumirá recursos de la red principal cuando sea estrictamente necesario. Cuando tenemos un sistema inteligente de gestión, capaz de auto ajustarse a los cambios en la demanda y suministro de energía, estaremos hablando de una Smart Grid.

Otro punto a favor de las Microrredes es que, como fuente de generación de energía, suelen utilizar sistemas renovables. Esto contribuye a que la instalación de Microrredes sea en zonas de difícil acceso de la red principal eléctrica, lo que nos permite suministrar energía en zonas aisladas. Nosotros a lo largo de este trabajo hablaremos, especialmente, de los sistemas relacionados con la energía solar y la energía eólica.

Generalmente las Microrredes se han nutrido de energías no renovables como podrían ser motores Diesel, pero, a lo largo de los años se han ido cambiando por energías renovables, ya que éstas, se pueden obtener en cualquier parte y resultan económicamente rentables y sostenibles. Pero surge un problema en cuanto al equilibrio del suministro ya que, al obtenerse energía del sol o del viento, no podemos controlarlo, y se podrían provocar cortes de luz. Por ello, históricamente, se han instalado generadores auxiliares para evitar estos desequilibrios, pero en la actualidad, cada vez es más común solventar ese problema con instalaciones de almacenaje de la energía.

En la *figura 3.1* podemos ver la estructura general de una Microrred donde tenemos como principal componente el control de la Micro Grid. Alrededor se encuentran el resto de las componentes entre los que están las diferentes formas de generación de energía junto con el sistema de almacenamiento y las cargas o consumos.

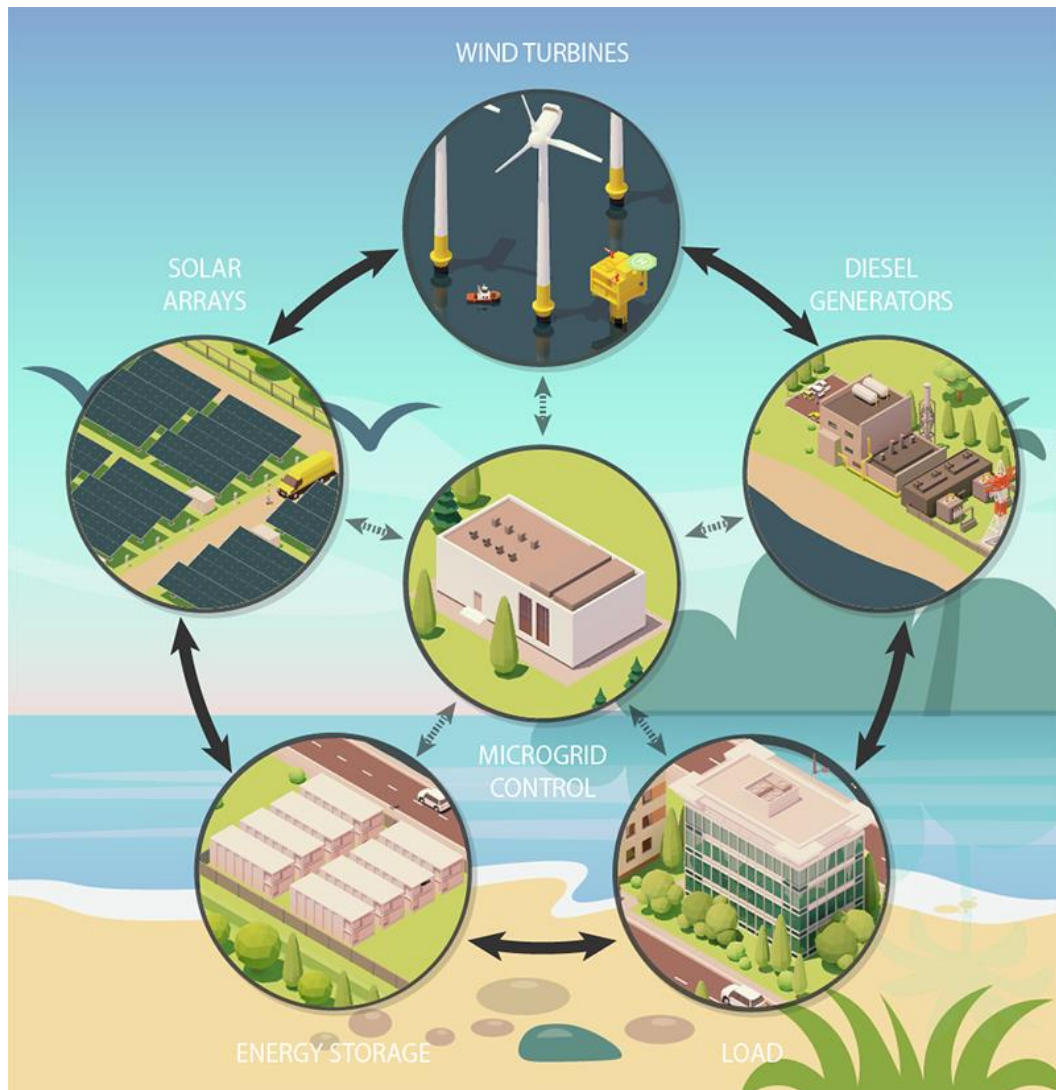


Figura 3.1: Estructura de una Microrred.

### 3.1. Generación de electricidad dentro de las Microrredes

Las redes más comunes de ver eran alimentadas por un conjunto de motores diésel o, en caso de que hubiera gas natural disponible, se abastecerían del mismo. Actualmente estos métodos de generación se siguen utilizando, pero como método de energía de respaldo ya que dan una respuesta rápida, se ajustan bien a los cambios de carga y tienen la posibilidad de consumir una gran variedad de combustibles.

Actualmente la mayoría de las Microrredes, tanto aisladas como conectadas a la red principal eléctrica, se encuentran alimentadas por diferentes energías renovables. Las más utilizadas son las provenientes del sol, siendo a su vez los más comunes los paneles fotovoltaicos, y las provenientes del viento que generan energía a través de los aerogeneradores.





Podemos tener sistemas auxiliares ya que las fuentes renovables de generación eléctrica no generan un suministro continuo y son difíciles de predecir. Aunque actualmente las tecnologías nos permitan suponer la cantidad de viento que va a haber o la irradiación solar, esto puede volverse impredecible y cambiar de un momento a otro. Además, generan una respuesta lenta. Por ello, se combinan todos los sistemas anteriores para garantizar un buen funcionamiento de la Microrred.

Se están empezando a utilizar tecnologías de pila de combustible que pueden funcionar con gas natural, hidrógeno u otros combustibles menos comunes. Por el momento se están desarrollando y actualmente esta tecnología resulta muy cara.

### 3.2. Almacenamiento de energía dentro de la Microrred

El almacenamiento de energía se ha vuelto un básico “obligado” dentro de las Microrredes. Muchos usuarios de paneles solares en casa se han iniciado en el mundo del almacenamiento energético para así almacenar el excedente de energía y poder gastarlo durante la noche o en otros periodos en los que se requiera.

Actualmente el costo de las baterías está descendiendo en una gran medida y se alcanza la rentabilidad de la inversión en un tiempo relativamente corto. Además de suministrar energía almacenada en momentos en que la producción es menor que el consumo, también nos permite dar respuesta a momentos de demanda máxima.

Al igual que la generación de energía en cualquier parte, la aparición y mejora del almacenamiento de energía favorece a la instalación de sistemas eléctricos aislados y a la desaparición de sistemas de generación de energía alternativos, como es el caso de los motores Diesel. De esta manera, vamos a favorecer la sostenibilidad y la mejora del medio ambiente evitando la emisión de gases procedentes de la combustión.

Cómo ya veremos más adelante la elección de un sistema de almacenamiento adecuado es muy importante y puede evitarnos unos costes excesivos y peligros a los que nos podríamos exponer.

La empresa S&C Electric Company habla de tres riesgos que tenemos a la hora de seleccionar un sistema de almacenamiento desde el punto de vista de una empresa. En primer lugar, habla del dinero que podríamos invertir y no recuperar, y también del que podríamos perder si al realizar una mala elección algún sistema se deteriora o se avería. En segundo lugar, se habla de los daños materiales y el gran alcance que podría tener un fallo en el sistema de la microrred, además de los daños personales que podría ocasionar. Y por último se refiere a la reputación de una empresa si selecciona un sistema de almacenamiento erróneo para algún cliente, se podrían producir pérdidas muy cuantiosas si esto se produjese.



Hablaremos más a fondo de este tema en el *apartado 4* en el que presentamos los distintos Sistemas de Almacenamiento de Energía o SAEs.

### 3.3. Gestión de la carga dentro de las Microrredes

Es muy común ver que las Microrredes son generalmente Smart Grids, las cuales funcionan de manera inteligente gestionando de manera equilibrada los métodos de generación y los almacenamientos de energía.

Resulta muy interesante la existencia de un “cerebro” en nuestra instalación que sea capaz de gestionar de manera eficiente la energía que se almacena y la que se consume de la red principal, para así obtener la mayor rentabilidad posible a los sistemas de generación renovables.

### 3.4. Control y comunicación dentro de las Microrredes

En cuanto hablamos de control y comunicación estaremos hablando de una Smart Grid, la cual, tiene que estar formada por un cerebro principal y un sistema de control

El cerebro de la Microrred inteligente va a ser el software de gestión de energía que anticipará las cargas, generación y almacenamiento para que el sistema funcione de manera rentable.

Ya hemos comentado la parte que hace de cerebro del sistema, ahora hablaremos del sistema de control que va a estar formado por controladores y sensores distribuidos por todo el entramado de la red, y también podríamos hablar dentro del sistema de control del SCADA.

El SCADA se trata de una herramienta de automatización y control industrial cuya función es la de controlar, supervisar, registrar datos, analizar los datos y crear informes. Su objetivo principal es el de detectar errores a través de los datos registrados para mejorar la eficiencia del funcionamiento del sistema y ayudan a tomar decisiones inteligentes dentro del sistema. Funciona gracias a un conjunto de aplicaciones informáticas interconectadas (MTU) con los sistemas físicos de control cómo son los autómatas programables (PLC) y las unidades terminales (RTU). En la figura 3.2 se puede ver un esquema general de la herramienta de control SCADA con sus distintos componentes.

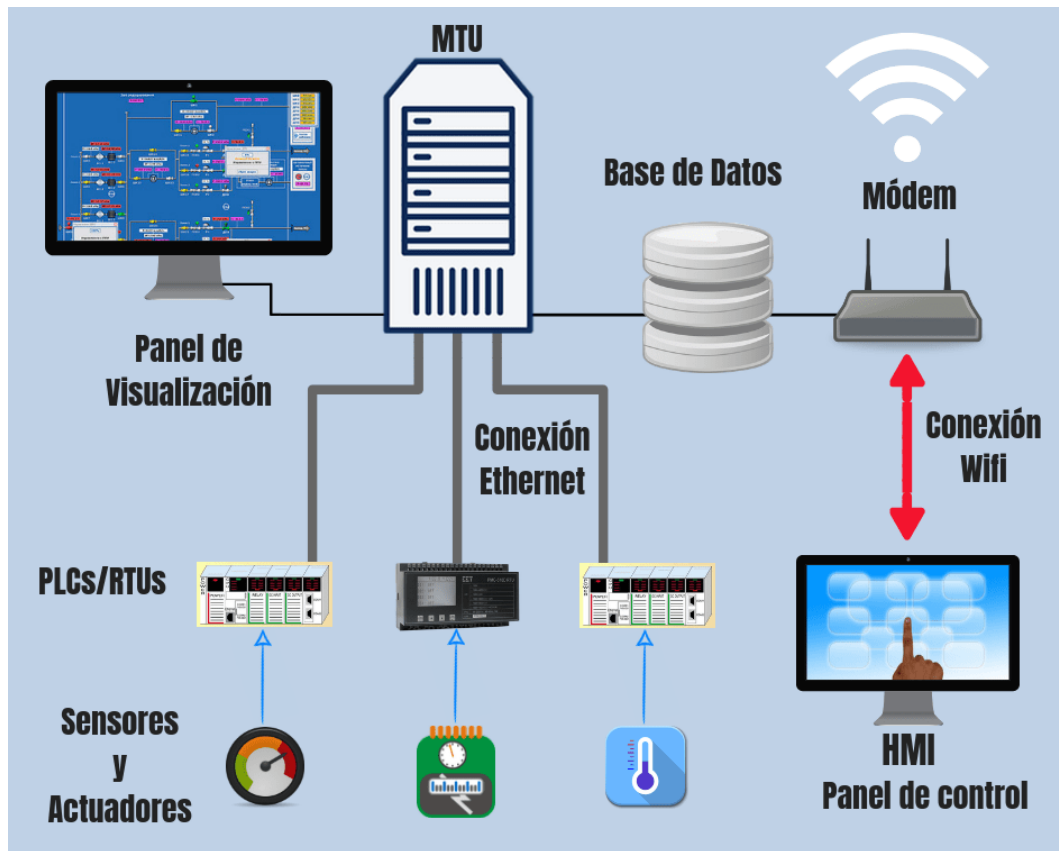


Figura 3.2: Arquitectura básica de sistema SCADA.

### 3.5. Conmutadores inversores y otros equipos

Por último, hablamos de la parte física de toda la red. Estos útiles van a unir todos los componentes de la red y hacer transformaciones eléctricas para que todo funcione correctamente. Nos referimos concretamente a los cables eléctricos, transformadores, disyuntores, reguladores, inversores...

Un ejemplo de una instalación en la que podemos ver alguno de los equipos de los que hablamos es la que vemos en la *figura 3.2* que, se trata de una instalación aislada y libre de mantenimiento en la que se han instalado baterías de gel capaces de suministrar 24 v. Se observa de color azul el inversor instalado de la empresa Victron Energy, y, además, se pueden ver varios disyuntores y conmutadores unidos por cables.



Figura 3.3: Instalación aislada de Inversor Victron Phoenix y baterías de gel.

### 3.6. Generación de energía

En este apartado vamos a hablar de las distintas formas de generación de energía más allá de la generación a partir de petróleo, carbón, gas natural, etc. Es decir, hablaremos de algunas formas de generación de energía a partir de materias primas producidas por la naturaleza sin tratamiento humano previo.



Antes de comenzar a desarrollar las distintas formas de generación conviene saber que estos tipos de generación de energía van a suponer el 46.6% de la energía producida en nuestro país en el año 2021. Estos datos han sido publicados por la red eléctrica española el día 14 de diciembre de 2021. Destaca en la generación renovable la generación eólica, que se coloca como líder en producción dentro del mix energético.

Por otro lado, está la energía solar fotovoltaica, que es la tecnología que más ha aumentado en España en el último año con respecto al 2020. Se coloca en una producción en el mix de 8.1%.

Uno de los grandes problemas al que nos enfrentamos con la generación de energía a partir de fuentes renovables, es el almacenamiento, ya que no podemos elegir cuando disponer de los recursos renovables como podrían ser el sol, viento, olas, lluvia... Además, los momentos en los que se suele disponer de los recursos naturales, suele coincidir con horas de consumos bajos como sucede con los ciclos día-noche o verano-invierno.

A continuación, desarrollamos algunos tipos de energía y el aprovechamiento de estas y prestaremos especial atención a aquellas que nos sean especialmente interesantes.

### 3.6.1. Energía geotérmica

La energía geotérmica, es aquella energía que se encuentra en la tierra. Se aprovechará el calor interno de la tierra para la generación de energía. En las profundidades se encuentra roca fundida o magma a muy altas temperaturas que genera una gran cantidad de calor, este calor se puede aprovechar y veremos distintas formas de hacerlo.

Este tipo de energía se encuentra disponible en todos los lugares de la tierra, en algunos lugares las temperaturas elevadas se alcanzarán en unas profundidades y en otros en profundidades superiores, pero desde cualquier parte del mundo se puede acceder a esta energía. Además, se trata de una energía limpia, libre de generación de CO<sub>2</sub>, pero una de las principales desventajas es el alto coste de la infraestructura necesaria para obtener el calor de la tierra.

Actualmente la mayoría de las centrales geotérmicas son hidrotermales, es decir, utilizan el agua caliente de la superficie terrestre que se ha calentado por la existencia de grietas que permiten ascender al calor de la roca fundida hasta la superficie. También se pueden crear estas grietas de forma artificial realizando una perforación en la corteza.

Los sistemas más actuales de aprovechamiento de calor terrestre suelen conllevar perforaciones de entre 3 y 6 km de profundidad para alcanzar al menos temperaturas de 150°C. Normalmente se hace circular agua por la perforación realizada para que esta aumente su temperatura y ascienda



caliente, este calor se utiliza para generar vapor que a su vez es utilizado por una turbina para generar electricidad.

Existen distintos tamaños de centrales que dependen de la profundidad a la que se realicen las perforaciones y por tanto a la temperatura que se alcance.

- De muy baja temperatura. Se alcanzan profundidades de unos 2 metros por debajo del suelo dónde se alcanzan temperaturas de 15 a 19°C. Suelen ser instalaciones de climatización de viviendas que funcionan con intercambiador de calor y bombas.
- De baja temperatura. Se alcanzan temperaturas entre los 30 y los 100°C y son utilizadas en sistemas de calefacción urbanos, procesos industriales y balnearios.
- De media temperatura. Se trabaja con temperaturas entre 100 y 150°C. Suelen ser centrales de generación de energía, pero con rendimientos reducidos.
- De alta temperatura. Temperaturas de trabajo superiores a los 150°C. Se utiliza la energía de la tierra para generar energía eléctrica en las centrales geotérmicas a través del vapor que se hace pasar por las turbinas.

En la *figura 3.4* observamos la mayor central geotérmica de la Comunidad Europea situada en Croacia. Se trata de la central Velika Ciglena de 17.5 MW que obtiene agua caliente y vapor a 170°C para producir electricidad y alimentar la red eléctrica local.

Por otro lado, en la *figura 3.5* podemos ver una instalación de baja temperatura con captación horizontal construida en Cantabria. Se trata de una instalación para climatizar una vivienda unifamiliar.



Figura 3.4: Central geotérmica de Velika Ciglena.



Figura 3.5: Geotermia con captación horizontal.



### 3.6.2. Energía solar térmica

Consiste en el aprovechamiento de la luz solar para calentar fluidos que posteriormente, serán utilizados para generar energía o para otros usos que veremos.

Existen diferentes tipos de tecnología para aprovechar la energía térmica del sol, entre las que destacan las instalaciones de espejos solares y las instalaciones de cilindros parabólicos.

Los usos son muy variables y dependen de la temperatura que alcance el fluido que se pretende calentar. Si la temperatura apenas alcanza los 100°C o inferior se suele utilizar en piscinas, instalaciones de ACS, suelo radiante o calefacción. En el caso de superar los 100°C y hasta los 400°C en colectores de concentración, y su principal uso es en refrigeración solar. Y, por último, si la temperatura supera los 400°C, se aprovecha la temperatura generada normalmente en centrales solares térmicas, o bien de espejos (heliostatos) o bien de colectores parabólicos en la generación de energía.

En España la generación de electricidad a partir de esta tecnología únicamente ha supuesto en 2021 el 1.81% de la energía generada total, lo que corresponde a 4.706 GWh de energía. Además, como podemos ver en las gráficas (*figura 3.6* y *figura 3.7*) no se observa que en los últimos años se hayan realizado muchas instalaciones de este tipo de tecnología ya que la producción prácticamente se ha mantenido en los últimos años.

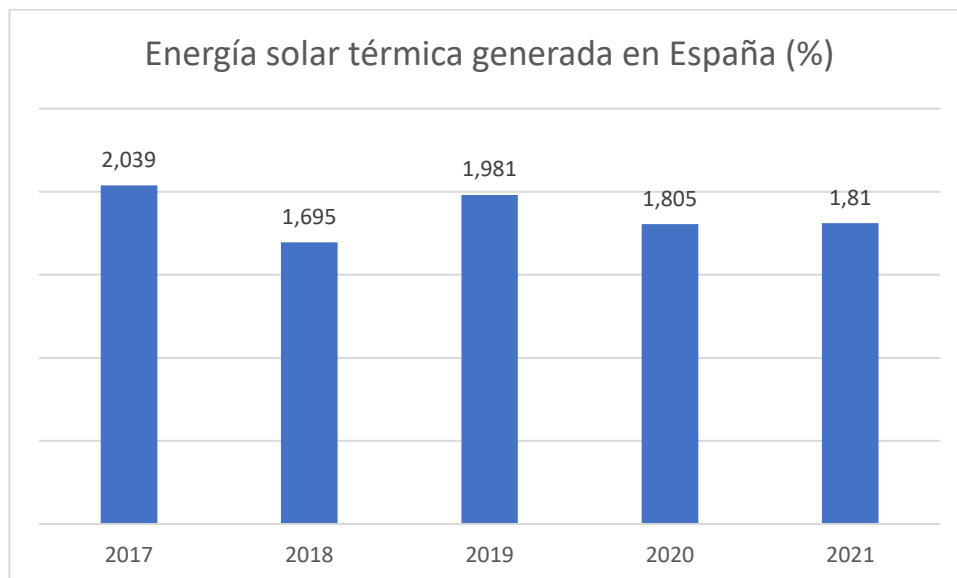


Figura 3.6: Gráfica de % de generación solar térmica en España.



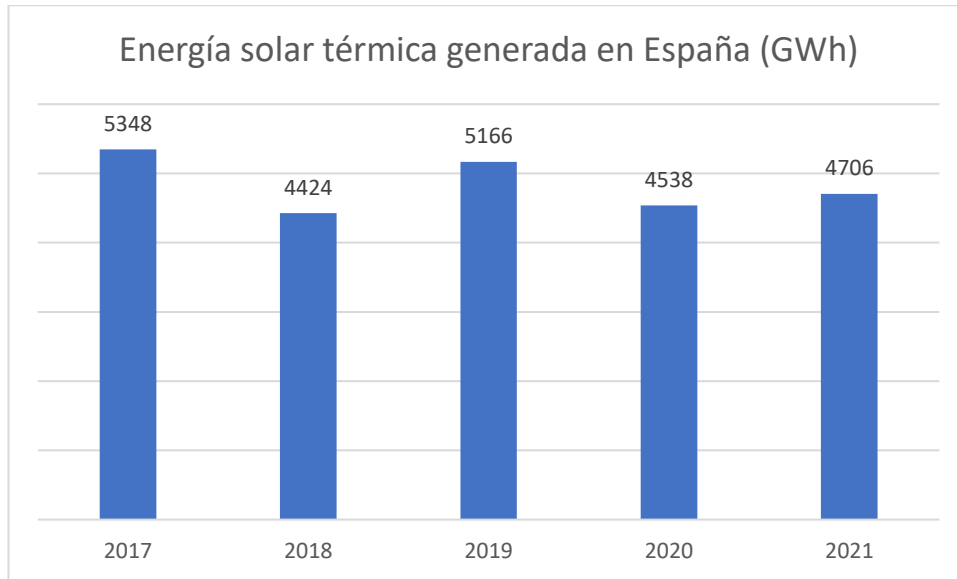


Figura 3.7: Gráfica de energía solar térmica generada en España.

En la figura 3.8 podemos ver una imagen de Gemasolar, la central termo solar situada en Fuentes de Andalucía, España. Podemos visualizar la torre central rodeada de los 2.650 heliostatos de los que dispone, que reflejan la energía del sol en lo alto de la torre donde se encuentran sales fundidas. Estas sales fundidas transfieren el calor aportado al agua convirtiéndola en vapor sobrecalentado que al pasar por unas turbinas es capaz de generar energía. Gemasolar es capaz de abastecer a 27.500 hogares con sus 80GWh al año producidos.



Figura 3.8: Planta solar térmica Gemasolar, Fuentes de Andalucía, España.



### 3.6.3. Energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica, basa la obtención de energía eléctrica a partir de la radiación solar proveniente del sol. La tecnología en la que se basa la producción de electricidad es el efecto fotoeléctrico.

Lo hace a través de unas células llamadas células fotovoltaicas las cuales pueden ser de distintos materiales semiconductores. Destacan las células de silicio monocristalino con una eficiencia entre 18% y 20%, las de silicio policristalino cuya eficiencia varía entre 15% y 17.5% y, por último, destacan también las de silicio amorfo con eficiencias más bajas pudiendo variar entre 8% y 9%.

La eficiencia de las placas solares no va a depender de la superficie cubierta por las células ni de la cantidad de radiación solar que reciban, si no, del material del que están compuestas, aunque, como es de esperar, a mayor superficie e irradiancia solar mayores cantidades de energía se van a producir.

Destaca el carácter modular de este tipo de obtención de energía lo que quiere decir que se van a poder construir enormes plantas fotovoltaicas o se puede hacer una instalación simple en un tejado de una casa. Esto permite suministrar electricidad a zonas aisladas o realizar instalaciones aisladas de la red general.

En España el porcentaje de la energía obtenida a partir de energía solar fotovoltaica fue en el año 2021 de un 8%, que equivale a una energía de alrededor de 21.000 GWh, tal y como podemos ver en la *figura 3.9* y *figura 3.10*. Además, podemos observar una tendencia al aumento de la participación de la producción fotovoltaica en los últimos años.

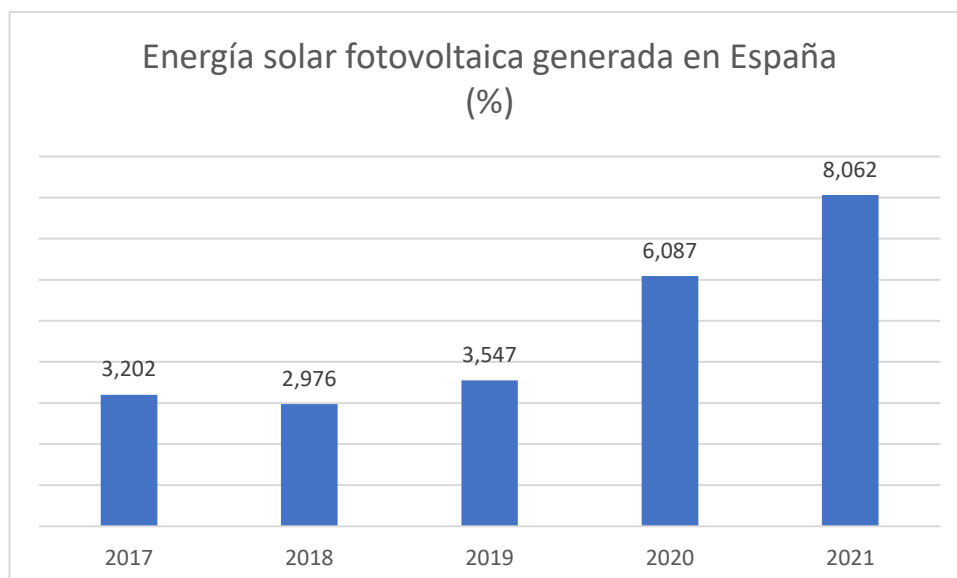


Figura 3.9: Gráfica de % de generación fotovoltaica en España.

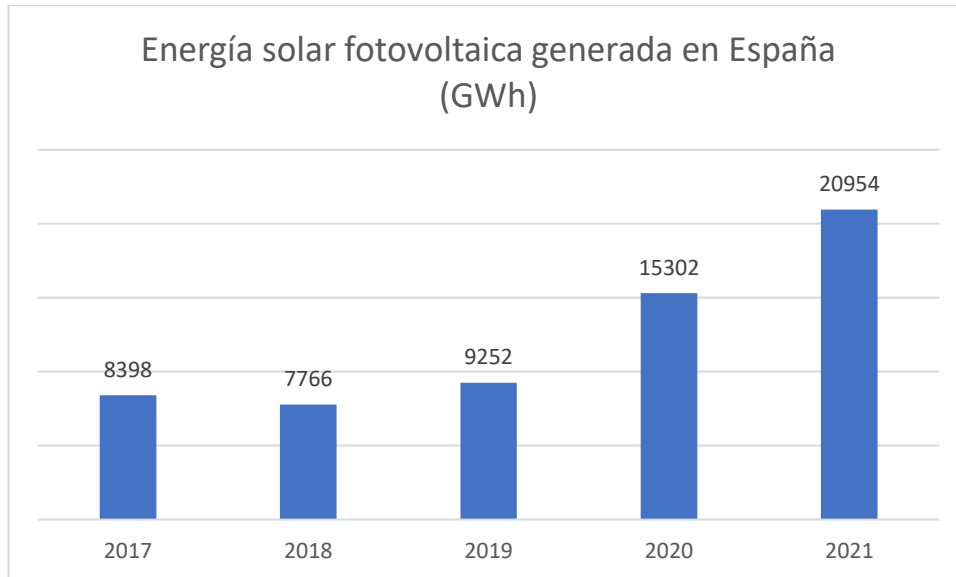


Figura 3.10: Gráfica de la energía fotovoltaica generada en España.

#### 3.6.4. Energía eólica

Aprovecha el viento para la generación de energía a través de aerogeneradores de electricidad. Las corrientes de aire hacen que las palas de los aerogeneradores se muevan y este movimiento es el que se transforma en energía eléctrica gracias a unos imanes que contiene el generador.

Una de las ventajas principales es que ocupa poco espacio, es decir que un campo de energía eólica es capaz de generar más energía eléctrica que el mismo campo de energía fotovoltaica. Otra de las grandes ventajas es su posibilidad de convivir con otras actividades como podrían ser la actividad agrícola y ganadera.

El mayor productor de energía eólica del mundo es Estados Unidos, seguido de Alemania, China, India y España, es decir, España se encuentra entre los mayores productores mundiales de energía a partir de energía eólica.

En España en el año 2021 el 18% de la energía generada provenía de la energía eólica instalada en nuestro país. Se generaron alrededor de 60.000 GWh ese mismo año y, teniendo en cuenta la tendencia de los últimos años a aumentar, se espera que este año 2022 siga aumentando la cantidad de energía generada y siga aumentando el porcentaje de energía eólica perteneciente a nuestro mix energético. Estos datos los podemos ver en la *figura 3.11* y *figura 3.12*.

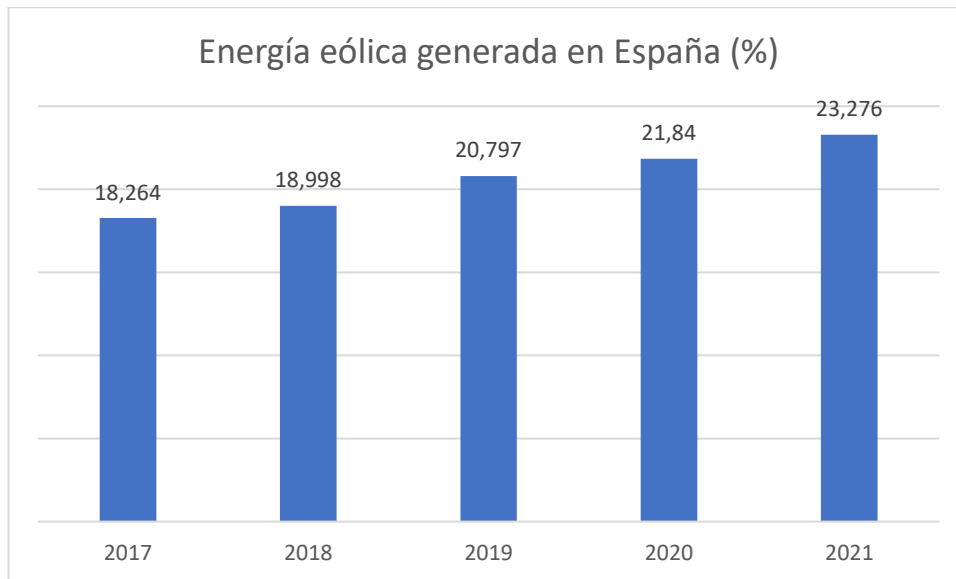


Figura 3.11: Gráfica de % de generación eólica en España.

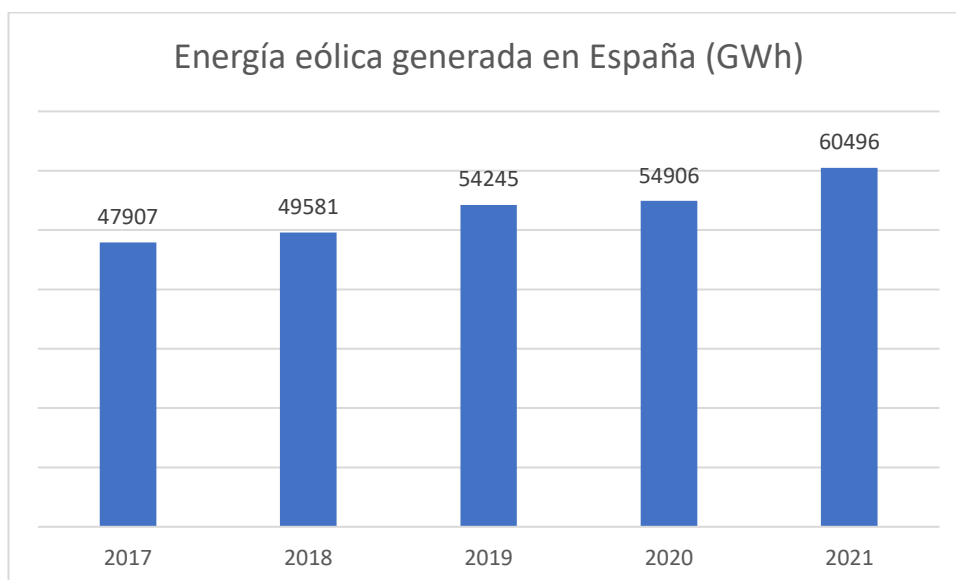


Figura 3.12: Gráfica de la energía eólica generada en España.

El parque eólico más grande de España se encuentra en Cuenca, Castilla La Mancha. Se trata del parque eólico de Gecama que ocupa una extensión de 41 Km<sup>2</sup> y es capaz de generar unos 1.000GWh al año que equivale a la energía anual que consumirían 280.000 hogares.

### 3.6.5. Energía mareomotriz

En los mares y océanos existe una gran cantidad de energía que podemos aprovechar para obtener energía eléctrica y existen distintas maneras de obtenerla.

- Energía de las corrientes. Consiste en aprovechar las corrientes marinas para producir energía eléctrica.



- Energía Undimotriz o energía de las olas. Consiste en el aprovechamiento de la fuerza de las olas.
- Energía Maremotérmica. Se obtiene energía eléctrica aprovechando la diferencia de las temperaturas del agua superficial y las aguas más profundas.
- Energía Mareomotriz o energía de las mareas. Consiste en aprovechar el ascenso y descenso del agua del mar que es provocado por el Sol y la Luna. Esta transformación de energía se hace mediante una turbina que transforma la energía potencial en energía eléctrica.

Utiliza la energía potencial del agua para hacer girar una turbina, como las de los sistemas de generación hidráulicos, que genera electricidad.

Una de las principales ventajas de este tipo de energía, es que es predecible, constante y fiable, además de ser inagotable y limpia, pero, no es muy rentable por el coste de la infraestructura necesaria y el rendimiento que ofrece esta tecnología.

En España existe un gran potencial de energía mareomotriz que se podría explotar, pero los altos costes de esta tecnología no han permitido que se exploten las mareas en nuestro país. Aun así, existen algunas plantas de generación entre las que destaca la situada en Motrico, Guipúzcoa, que fue la primera planta mareomotriz comercial del mundo, inaugurada en junio del 2011 con 16 turbinas capaces de producir 600.000 kWh anuales.

### 3.6.6. Energía hidráulica

La energía hidráulica, consiste en el aprovechamiento de uno de los recursos naturales más importantes, el agua. Utiliza la energía cinética del agua para generar electricidad. Se trata de una energía completamente limpia que no genera ningún tipo de residuo ni emisión tóxica.

La energía se va a generar en saltos de agua, o bien naturales o creados por el ser humano mediante la construcción de presas o embalses. Estos embalses van a servir además de para generar energía, para abastecer poblaciones o para el riego de campos. Una de las características importantes del emplazamiento de un embalse es la existencia de abundantes lluvias que incrementen el caudal de agua de los ríos para aprovechar la energía cinética.

Como podemos ver en la *figura 3.13*, los principales productores de energía a partir de energía hidráulica son China, Brasil, EE. UU. y Canadá. España se encontraba en el lugar número 12 en el año 2020 con una producción de 20.4 GW de los 1.330 GW que se generaron en el mundo en 2020 mediante esta energía.

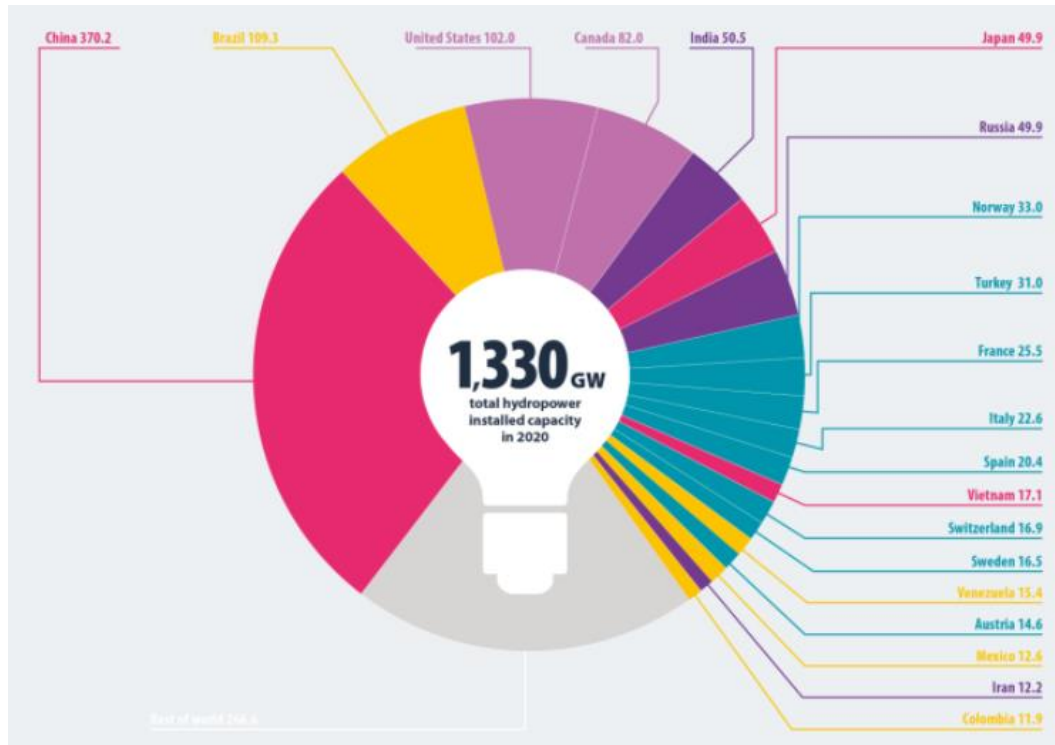


Figura 3.13: Principales países productores de energía hidráulica.

En España en el año 2021 la generación de energía a partir de energía hidráulica fue la segunda mayor forma de generar energía renovable. Se generaron en el último año 30.000 GWh que se corresponden con el 11.4% de la energía generada en España. Como vemos en la *figura 3.14* y en la *figura 3.15*, en los últimos años la tendencia es algo inestable, aunque parece que en los últimos 3 años se ha estabilizado un poco llegando incluso a aumentar.

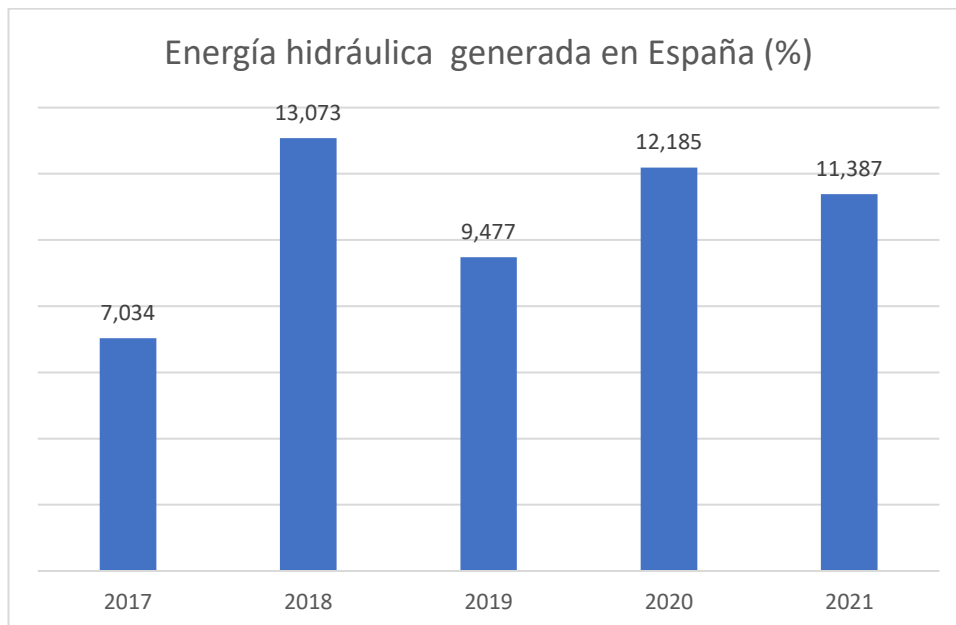


Figura 3.14: Gráfica de % de generación hidráulica en España.

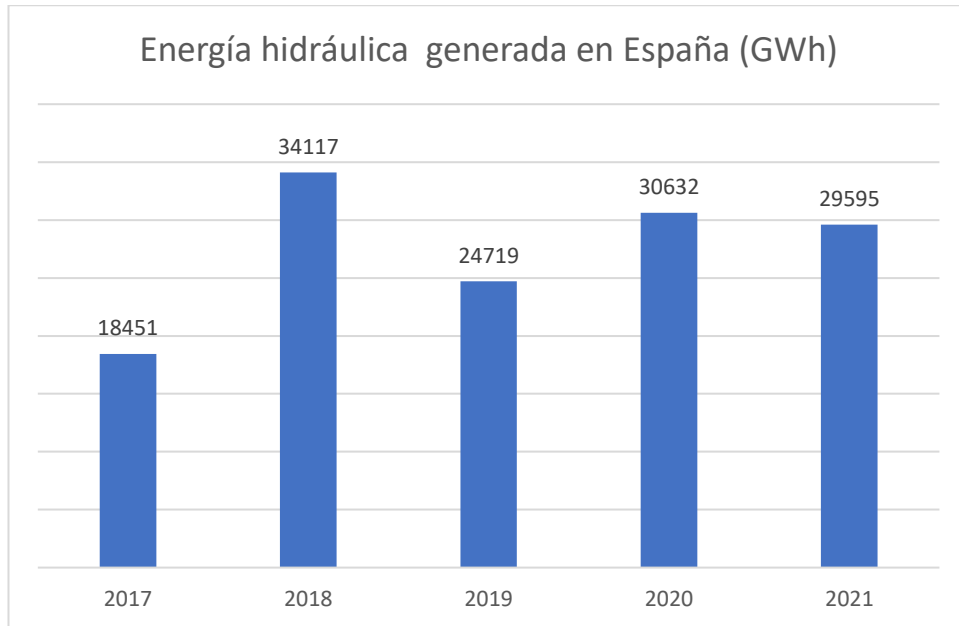


Figura 3.15: Gráfica de energía hidráulica generada en España.

#### 4. Estado del arte de los distintos almacenamientos de energía

El diagrama mostrado en la *figura 4.1* es el diagrama de Ragone en el que se muestran algunos de los tipos de almacenamiento y se indican los intervalos de densidad de potencia frente a la densidad de energía.

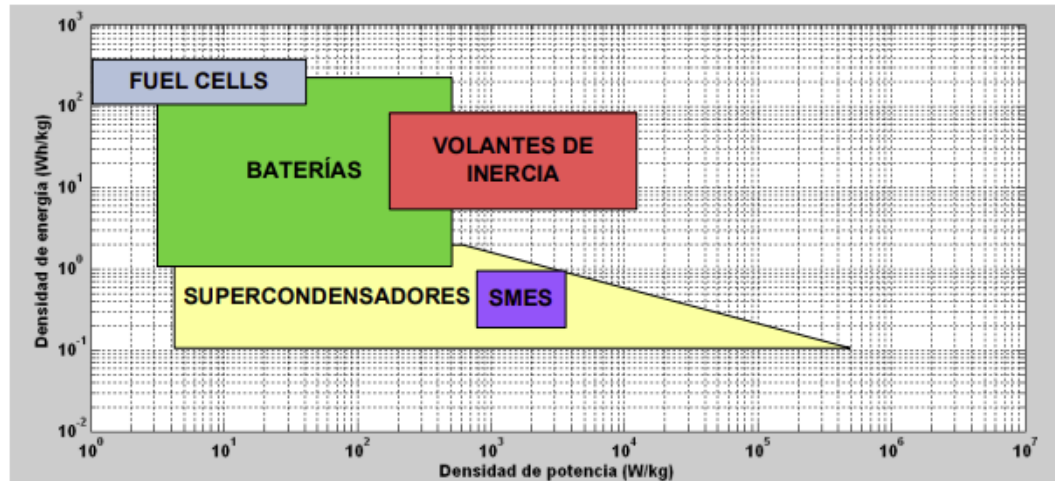


Figura 4.1: Diagrama de Ragone.

##### 4.1. Almacenamientos electroquímicos

###### 4.1.1. Baterías

La manera en que van a funcionar es transformando la energía química en electricidad. Cabe destacar que la principal diferencia de las baterías y las pilas es que las baterías permiten que el funcionamiento sea reversible y, por lo tanto, éstas se puedan cargar y consumir la energía almacenada. En cambio, las pilas solo trabajan en una dirección, en cuanto se consumen sus productos químicos, esta no producirá más electricidad.

Vamos a comentar varios aspectos fundamentales que van a caracterizar a las baterías:

- Voltaje nominal que suministran. Suele ser de 2, 6, 12, 24 V. Medido en voltios (V).
- Voltaje de carga. Es la tensión que tenemos que alcanzar mínimamente para poder cargar el acumulador.
- Capacidad de carga. Potencial que posee una batería completamente cargada para suministrar una cantidad de electricidad a un valor de corriente determinados. Se mide en Amperios-hora (Ah). Por ejemplo: una batería de 130 Ah podrá suministrar 130 Amperios durante una hora o 13 amperios en 10 horas.





- Energía almacenada. Cantidad de intensidad que puede suministrar a lo largo de un tiempo con una tensión determinada. Se mide en Watío-Hora (Wh)
- Factor de autodescarga. Nos indica la cantidad de energía que se ha descargado de un acumulador en un tiempo debido a su inactividad. Este valor se indica en porcentaje de carga.
- Efecto memoria de las baterías. Consiste en la pérdida de capacidad de carga de la batería debido a ciclos incompletos de carga y descarga, temperaturas inadecuadas de la batería... Hay muchas causas que van a generar una pérdida de memoria de las baterías.
- Profundidad de descarga. Se trata de la cantidad de energía que puede extraerse de una batería. Se representa mediante porcentaje.

Historia de las baterías.

- 1800 Alessandro Volta inventa la pila que actualmente lleva su nombre. La pila Volta.
- 1803 Johann Wilhelm Ritter crea un prototipo teórico y experimental de un acumulador eléctrico.
- 1836 John Frederic Daniell inventa la pila Daniell a partir de la pila Volta.
- 1844, William Robert Grove inventa su propia pila con mayor potencia que las anteriores y que fue muy utilizada hasta 1860.
- 1860 Gastón construyó el primer modelo de batería de plomo y ácido.
- 1879 Gastón Planté volvió a explicar su modelo de batería que en 1860 no había resultado exitoso entre la sociedad, y ahora si comenzó a utilizarse cada vez más y a irse perfeccionando.
- 1887 Carl Gassner y Federico Guillermo Luis Helleesen patentaron paralelamente los modelos de pila seca la cual no tenía un electrolito líquido
- 1899 Waldemar Jungner inventó el acumulador de Níquel-Cadmio
- 1903 Thomas Alva Edison patentó otro tipo de acumulador con electrodo de hierro y níquel
- 1912 Gilbert Newton Lewis comenzó la experimentación con baterías de iones de litio, pero hasta 1970 no se comenzaron a comercializar.



- 1970 se comenzó el desarrollo de baterías de Níquel Hidrógeno para satélites de comunicaciones.
- 1980 John B. Goodenough dirigió un grupo de investigación de Sony que desarrolló finamente las baterías de iones de litio

A continuación, vamos a hablar de los principales tipos de baterías de forma general y los iremos desarrollando poco a poco en apartados posteriores.

#### 4.1.1.1. *Baterías de Plomo Ácido*

En 1860 se construyó el primer modelo de batería de plomo ácido ingeniado por Gastón Planté. Hoy en día, estas baterías se siguen modernizando y mejorando, y es por ello, por lo que existen muchas variedades que se ajustan a diferentes ámbitos en los que podríamos utilizarlas.

Estas baterías las podremos encontrar en monobloque o de forma estacionaria. Las baterías monobloque están formadas por un número concreto de celdas y cada una de esas celdas posee dos electrodos planos sumergidos en un electrolito. En el caso de las estacionarias tendremos que cada una de las celdas es una batería que, conectadas en serie, podemos alcanzar el mismo voltaje que en el monobloque. En el caso de las estacionarias los electrodos son tubulares por tanto la superficie de contacto con el electrolito es superior. Estos electrodos se encuentran sumergidos en una disolución de ácido sulfúrico y agua destilada que va a ser el electrolito que va a provocar que se dé lugar la reacción.

Su funcionamiento comienza cuando se produce reacción química entre la placa de plomo y el electrolito. Si en vez de consumir energía de la batería lo que hacemos es suministrarla, el proceso se revierte y lo que haremos será almacenar energía para utilizarla cuando sea necesario. En el caso de las baterías de plomo ácido fotovoltaicas, la energía mediante la cual se cargan las baterías está generada en los paneles fotovoltaicos pasando previamente por un regulador.

Es aconsejable que las baterías no se descarguen por completo ya que el electrodo se habrá consumido completamente, y puede afectar a la vida útil de la batería.

Las baterías de plomo ácido necesitan mantenimiento en la mayoría de los casos. Vamos a comentar los tipos de baterías de plomo ácido que desarrollaremos.

En primer lugar, tenemos las baterías de plomo ácido ventiladas (VLA) también conocidas como abiertas. Y también conocidas por su nombre en inglés “flooded” o “wet” que quiere decir inundados o húmedas y que nos dan una idea de cómo van a ser estas baterías. Se caracterizan por tener los electrodos



sumergidos completamente en ácido sulfúrico. Generan gases en sus reacciones que pueden provocar riesgo de explosión funcionando en condiciones extremas, además, en caso de rotura de la batería se podría derramar el electrolito que es muy corrosivo y tóxico. Requieren de un suministro regular de agua y no deben emplearse en lugares cerrados ya que expulsan gases. Como ventaja principal de este tipo de baterías es que su precio es muy económico, permiten una vida útil larga con un mantenimiento adecuado y permiten altas demandas de intensidad.

El segundo tipo que vamos a comentar es el de baterías plomo ácido selladas o VRLA que proviene de “valve-regulated lead-acid”. Este nombre inglés nos indica que estas baterías están conformadas por unos tapones de caucho que pueden ser liberados para regular la presión. En este caso y a diferencia de las VLA tenemos el electrodo inmovilizado ya sea, con una malla de fibra de vidrio o añadiendo sílice para que el electrolito sea más viscoso (este es el caso conocido como AGM, “absorbed glass material” o de gel). De cualquier forma, en estos casos no tendremos un electrolito líquido y no vamos a generar gases, por lo tanto, las podremos utilizar en sitios cerrados, y son menos sensibles a golpes y vibraciones.

Las baterías de plomo ácido son las más utilizadas en la actualidad, son cada vez más sofisticadas y modernas y existen diversos modelos que pueden cubrir las necesidades que necesitamos cubrir. Podemos encontrar estas baterías en automóviles, en paneles solares fotovoltaicos, en SAIS, sistemas de iluminación o alarma, etc.

#### 4.1.1.2. *Baterías de Níquel Cadmio*

Fueron inventadas en 1899 en Suecia por Waldmar Junger, pero no se comenzaron a utilizar hasta 1932 debido al alto coste de los metales utilizados en comparación con otras baterías, como las de plomo ácido. Llegaron a alcanzar su punto álgido a mediados del siglo XX siendo algunas de las mejores fuentes de almacenamiento de energía y, en 1947 se desarrolló una batería sellada que no necesitaba mantenimiento con excelentes parámetros de funcionamiento. Actualmente se ha restringido mucho su uso ya que el cadmio es un material muy tóxico para el hombre y muy contaminante.

Estas baterías basan su funcionamiento en la interacción reversible entre el cadmio y el óxido de níquel-hidróxido y el agua, lo que resulta en la formación de hidróxido de níquel e hidróxido de cadmio. Estas reacciones tienen lugar en cajas cerradas que contienen dos electrodos, uno positivo formado por una malla o lamina de acero recubierta por una pasta de óxido de níquel e hidróxido mezclado con un material conductor, y un electrodo negativo, formado por una lámina de acero con cadmio poroso prensado. Estos electrodos se encuentran en una solución de un electrolito alcalino, generalmente de hidróxido de potasio, con una textura similar a la gelatina.



El funcionamiento es el común a todas las baterías electroquímicas, se va a producir una reacción que va a dar lugar a la formación de hidróxido de níquel e hidróxido de cadmio. El proceso de reacción es reversible, por lo que la batería se cargará o suministrará la energía que tiene almacenada dependiendo de la dirección de la energía.

Estas baterías no requieren prácticamente de mantenimiento, pero cabe destacar que hay que evitar ciertas prácticas que pueden dañar el rendimiento de la batería. Algunas de estas prácticas son carga incompleta de las baterías, recarga fuerte regular que produce sobrecalentamiento, aumento de pérdida de agua, de gas y destruye los electrodos, la carga insuficiente o el funcionamiento a bajas temperaturas que a largo plazo conduce a un cambio en la composición y volumen del electrolito.

Una ventaja que tienen las baterías de Ni-Cd es que, en caso de pérdida de la capacidad, se pueden recuperar casi por completo utilizando una descarga completa y una carga posterior en modo estándar.

Una de las principales desventajas es que su tensión es de 1.2V frente a los 1.5V de las pilas normales. Si bien es cierto que tienen una baja impedancia interna que permite asociar varios elementos en serie, pero aun así esto supone un 20% menos de tensión.

Como hemos comentado, estas baterías suponen un problema para el medio ambiente y para los seres vivos. Actualmente se han endurecido las medidas medioambientales y esta composición de baterías se está sustituyendo por las de níquel-Metal y tecnologías de iones de litio. Aun así, podemos encontrar estas baterías en muchos dispositivos electrónicos y se utilizan para aplicaciones solares, coche eléctrico, herramientas portátiles, etc.

En la *figura 4.2* podemos ver una batería de Ni-Cd de 12 voltios de la empresa china Changhong. Como podemos ver, vamos a tener 10 compartimentos y, como son capaces de dar 1.2V de energía, tendremos en total los 12 voltios que suministra la batería.



Figura 4.2: Batería de Níquel Cadmio de Empresa Changhong.

#### 4.1.1.3. Baterías de Níquel Hidruro Metálico

Fueron creadas en 1970 por el químico Stanford Ovshinsky, pero se han comenzado a utilizar con la llegada de los teléfonos móviles. Han comenzado a ser el sustituto de las baterías de níquel cadmio debido a la toxicidad y precio elevado de las mismas y debido a que la producción de estas nuevas baterías, va a ser mayor en una batería del mismo tamaño.

Se desarrollan a partir de las baterías NiH<sub>2</sub> que son utilizadas para los satélites espaciales las cuales se necesita que duren décadas. El gran problema a la hora de desarrollar las NiMH era que requerían un gran tamaño debido a los tanques de hidrogeno que necesitaban. Finalmente, el hidrógeno que necesitan para funcionar se añadió en una aleación de metal la cuál es el punto débil y de desarrollo de esta tecnología.

Los principales metales de los que están formadas estas baterías son por ejemplo el titanio, el vanadio, el níquel, el cromo e incluso se está experimentando con otros metales.

Una de las principales características de estas baterías es que no tienen efecto memoria, pero si se pueden dañar por exceso de carga, es decir, si se alimentan con energía cuando su carga es completa puede producir daños en la batería. También sufren autodescarga que suele ser mayor de un 10% en 24 horas.

En el año 2005 se introdujo en el mercado una variante de la batería Ni-MH llamada LSD Ni-MH que presenta una tasa de autodescarga significativamente menor ya que este es uno de los problemas de las baterías anteriores. Básicamente la manera de disminuir la autodescarga es mediante una mejora en el separador de electros y la optimización del electrodo positivo.



Estas baterías se encuentran en auge desde el 2017 con la publicación de las directivas europeas 2006/66/EG y 2016/56/EU en las que se prohíbe la comercialización de herramientas portátiles provistas de baterías de NiCd. Actualmente estas baterías se pueden encontrar en dispositivos portátiles, herramientas portátiles, cámaras de video, teléfonos móviles, etc.

#### 4.1.1.4. Baterías de iones de litio

Akira Yoshino en 1985 desarrolló el primer prototipo de acumulador a base de iones de litio y posteriormente un equipo de Sony desarrolló la primera batería comercial en 1991 basada en esta tecnología. En la actualidad, es la más utilizada gracias a su gran versatilidad a la hora de almacenar energía tanto a pequeña como a gran escala.

Estas baterías, son capaces de almacenar más energía en menos espacio que los demás acumuladores que hay en el mercado, y por esto, van a ser importantes en el futuro ya que nos encontramos ante el desafío del cambio climático en el que destaca la descarbonización y las energías renovables.

Están formadas por dos o más celdas en las cuales vamos a tener un electrodo negativo de donde salen los iones, y uno positivo que los recibe. Como medio de transferencia de estos electrones vamos a tener un electrolito. Generalmente el cátodo va a estar conformado por un compuesto químico llamado óxido de litio-cobalto o uno más utilizado actualmente que es el fosfato de hierro-litio ( $\text{LiFePO}_4$ ). El ánodo generalmente va a estar hecho de grafito y el electrolito va a ser un disolvente orgánico como podría ser el éter.

Cuando la batería funciona suministrando la energía almacenada, va a haber un transporte de electrones desde el ánodo hasta el cátodo y cuando la batería se encuentra cargándose, los iones de litio regresan al ánodo.

Dependiendo del uso final de las baterías vamos a tener diferentes tipos que varían sobre todo en la disposición y forma, ya que por ejemplo para un vehículo eléctrico instalaremos baterías con celdas cilíndricas que consisten en láminas de distintas componentes, enrolladas hasta formar un cilindro. Si por ejemplo el uso es para un teléfono móvil, requerimos celdas planas que utilizan polímero de iones de litio apilados en forma de láminas.

Las principales ventajas de estas baterías frente a las anteriores comentadas, es que se cargan en menos tiempo y tardan más en descargarse, además tienen una elevada densidad de energía, es decir, almacenan más energía en menor espacio. No tienen efecto memoria y pierden una muy baja cantidad de carga cuando no se están utilizando. Tienen una elevada vida útil, algunos fabricantes aseguran una vida útil de entre 3.000 y 3.500 ciclos. Un aspecto también muy destacable es el mantenimiento, ya que no requieren ningún tipo de este, además, en cuanto a seguridad son muy buenas ya que no suponen ningún riesgo ni para el operario o persona que las manipule ni para el medio ambiente.



Sin embargo, presentan ciertas desventajas relacionadas principalmente con la protección de las baterías ya que deben incorporar sistemas para evitar sobrecargas y sobrecalentamiento que puedan dañar la batería. Y por último otra gran desventaja de las baterías a base de iones de litio o Li Ion es el elevado coste.

Uno de los principales usos es el de almacenamiento de energía proveniente de energía solar o eólica, porque estas baterías dan muy buena respuesta a entradas intermitentes de energía y de forma muy rápida. Podemos encontrarlas también en dispositivos móviles, sistemas de emergencia, etc.

El vehículo eléctrico tiene mucho que agradecer a las baterías de iones de litio debido a que dan cada vez mejor respuesta a la autonomía que tanto preocupa en los coches eléctricos y actualmente el precio de estas baterías está cayendo, lo cual, está dando un mayor impulso a estos vehículos.

#### 4.1.1.5. *Baterías de litio metal*

Surgen a causa del elevado coste de las baterías Li-Ion. Con el desarrollo de estas baterías parece haberse encontrado una manera de reducir el coste de la batería y de aumentar eficiencia y rendimiento incluso, pero presenta unos problemas que impiden su uso en muchos casos.

Se trata de una batería con electrolito sólido en la que se sustituye el grafito del ánodo por una fina capa de litio junto con un cátodo de alta energía. Aparece un problema muy importante, que es la formación de dendritas que consumen el electrolito disminuyendo su rendimiento y capacidad.

Estas baterías podrían llegar a duplicar la autonomía en vehículos eléctricos en caso de conseguirse mejorar los defectos con los que cuentan actualmente.

#### 4.1.2. *Baterías de flujo*

Charles Renard en 1884 utilizó una batería de flujo que pesaba más de 450 kilos para hacer funcionar el gigantesco dirigible La France. En los años 50 y 70 se realizaron avances en el almacenamiento de energía en líquidos, pero no es hasta los 80 cuando se crearon las baterías de flujo de vanadio. Hasta la actualidad no han seguido desarrollando avances muy significativos.

Consiste en un tipo de acumulador de energía que almacena energía en electrolitos líquidos. Esta es la principal diferencia respecto a baterías tradicionales de estado sólido. Existen 3 tipos de baterías de flujo que son Redox, Híbrido y sin membrana. Vamos a destacar las baterías de flujo redox frente a los otros dos tipos.

Las baterías de flujo redox con electrolito principalmente de vanadio, funcionan haciendo circular el electrolito desde unos tanques de almacenamiento hasta un conjunto de celdas electroquímicas con una membrana que separa el ánodo



del cátodo. Se produce una reacción redox, es decir de oxidación entre ánodo y cátodo y de esta manera se almacena la energía.

Se consideran almacenamientos de energía de alta duración y su interés radica en la integración de las energías renovables. Además, son muy seguras y prácticamente no sufren deterioro con el paso del tiempo. Sin embargo, tienen algunos problemas asociados al electrolito en concreto al electrolito de vanadio ya que éste tiene bajo límite de concentración y provoca que las baterías sean de gran tamaño. Otro inconveniente es que el rango de temperaturas óptimo del electrolito está entre los 5 y los 36 grados y se requiere conseguir un mayor rango de temperatura de trabajo y, para terminar, el precio del vanadio actualmente se encuentra elevado.

Se está trabajando en el desarrollo de electrolitos orgánicos que puedan ser sustitutos de este. Las baterías con electrolitos orgánicos han mostrado ser estables con un bajo coste y sostenibles lo cual las coloca en una buena posición en el desarrollo de tecnologías futuras de almacenamiento de energía.

#### 4.1.3. Pila de combustible

Las pilas de combustible se encuadran dentro de los sistemas de almacenamiento de energía mediante métodos electroquímicos ya que es muy semejante a las baterías que hemos estudiado anteriormente, pero la principal diferencia es que estas no se agotan ni necesitan recargarse de nuevo y además producen electricidad, calor y agua mientras se le suministre el combustible que necesitan.

En el interior de las pilas se va a producir una reacción electroquímica donde la energía química se va a convertir en electricidad sin que se produzca ninguna combustión, por lo que, es una manera limpia de producción de electricidad. La reacción se va a producir entre un combustible que generalmente va a ser el hidrógeno o sustancias que le lleven disueltas, y un oxidante que va a ser generalmente oxígeno.

Las pilas de combustible al igual que las baterías están formadas por una suma de celdas o células de combustible y, cada una de estas células van a estar formadas por dos electrodos, cátodo y ánodo que van a contener un cierto contenido de un catalizador y ambos electrodos, van a estar separados por un electrolito sólido o líquido.

En el electrodo negativo (ánodo) se va a inyectar el combustible y en el cátodo se inyecta el oxígeno. El hidrógeno reacciona con el catalizador y se disocia en iones positivos y electrones. El oxígeno a su vez se disocia también en iones negativos. Los iones del hidrógeno viajan a través del electrolito mientras que los electrones van a atravesar un circuito externo que es lo que va a generar la electricidad dentro de la pila y, finalmente, al llegar al cátodo se combinan con el oxígeno y los protones para generar agua.





Para alcanzar la mayor sostenibilidad del proceso, es interesante utilizar hidrógeno puro obtenido mediante métodos renovables de energía, aunque también se puede usar como combustibles sustancias como el metanol o etanol que tienen hidrógeno en su composición. Por otro lado, el oxígeno se puede utilizar puro o se puede extraer directamente del aire sin necesidad de almacenar oxígeno en su estado puro.

A la hora de clasificar las pilas nos vamos a centrar principalmente en el tipo de electrolito que utilizan.

- PEM (Polymer Electrolyte Membrane) Utilizan como electrolito un polímero y electrodos de carbono poroso, trabajan a bajas temperaturas y son ligeros lo cual los hace adecuados para sistemas de transporte, aunque también pueden ser usados en estaciones de generación de energía.
- DMFC (Direct-Methanol Fuel Cells). Son similares a las PEM, pero la diferencia, es que utilizan metanol en vez de hidrógeno como combustible. Son ideales para dispositivos electrónicos portátiles.
- MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells). Utilizan una sal de carbonato fundido inmovilizada en una matriz porosa como medio de separación entre los dos electrodos. Alcanzan temperaturas de funcionamiento de hasta 600°C por lo que son usadas en estaciones de generación de energía y tienen una alta eficiencia.
- SoFC (Solid Oxide Fuel Cell). Como electrolito tienen un componente cerámico no poroso, operan a temperaturas que pueden alcanzar los 100°C lo que las hace ideales para sistemas estáticos de generación de energía.

Actualmente las pilas de hidrógeno están comenzando a tener gran protagonismo, sobre todo en el mundo del automóvil, y están haciendo frente a los problemas de estos sistemas de almacenamiento como puede ser la manera de almacenar el hidrógeno que, pese a ser el elemento más abundante en la tierra, es muy difícil de almacenar y distribuir. Otro de los problemas de las pilas de combustible es el coste de estas, ya que, por ejemplo, los catalizadores que utilizan tienen un elevado coste porque son escasos y de difícil extracción.

#### 4.2. Almacenamientos eléctricos

Cabe destacar que la electricidad no puede almacenarse de ninguna forma más que almacenándola en una forma energética diferente, y posteriormente transformándola para ser utilizada en forma de electricidad.



En este caso almacenaremos la energía en forma de energía eléctrica mediante un campo eléctrico y posteriormente la transformaremos en electricidad.

#### 4.2.1. Condensadores

Los condensadores o capacitadores se utilizan en circuitos eléctricos y electrónicos y tiene la capacidad de almacenar energía mediante un campo eléctrico. Está compuesto por un conjunto de láminas conductoras separadas por un material dieléctrico.

Su funcionamiento está basado en que, al suministrar energía al condensador, se somete a sus placas a una diferencia de potencial que va a ocasionar que una placa se cargue negativamente llenándose de electrones, mientras que, otra placa va a liberar sus electrones y va a quedar cargada positivamente. El material aislante que se encuentra entre las placas va a hacer que, al desconectar al condensador de la fuente de energía, estas se queden cargadas sin que se produzca intercambio de electrones, de esta manera, la energía queda almacenada.

Los condensadores se utilizan mucho como medio de eliminación de las oscilaciones de corriente, es decir, si tenemos un voltaje que oscila, al añadir un condensador utilizará la energía almacenada para suministrarla o se recargará para que así la energía que pase por él sea estable.

Se utiliza también como medio para estabilizar y almacenar la energía que se produce en medios de generación renovable como eólica y solar, ya que estas van a producir energía de manera variable e, instalando un condensador, podemos incrementar la eficiencia del sistema eléctrico.

#### 4.2.2. Almacenamiento de energía en superconductores magnéticos (SMES)

Se basa en el almacenamiento de energía a través de un campo magnético. Esto se consigue gracias a una corriente continua suministrada a una bobina conformada por un material superconductor. La bobina se va a almacenar a muy bajas temperaturas lo que va a permitir reducir la resistencia del superconductor. El enfriamiento se produce por baños de nitrógeno o helio líquido.

Su rendimiento gracias a los baños para reducir la temperatura puede llegar a alcanzar el 90%.

Es capaz de dar respuesta rápida frente a cambios en la demanda de energía, se trata de un almacenamiento eficiente a corto plazo y tiene una esperanza de vida útil muy elevada.

En la *figura 4.3* se puede apreciar la arquitectura de un sistema de almacenamiento mediante superconductores magnéticos.

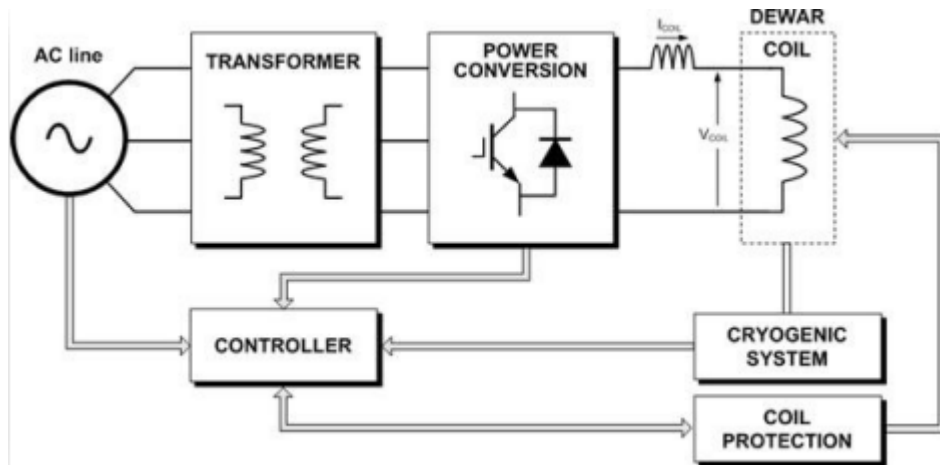


Figura 4.3: Arquitectura de sistema de almacenamiento SMES.

### 4.3. Almacenamiento mecánico

Consiste en el almacenamiento de energía mediante el suministro de fuerzas a medios materiales, que van a almacenar esa energía en forma de energía mecánica que podrá ser utilizada, cuando sea necesario. Vamos a hablar de varios tipos que van a ser diferenciados por el medio material que utilicen para almacenar la energía.

#### 4.3.1. Mediante aire comprimido (CAES “Compressed Air Energy Storage”)

Esta tecnología consiste en el almacenamiento de aire comprimido en almacenamientos subterráneos a altas presiones, que suelen alcanzar entre, 60 y 120 bares de presión.

Se utiliza el excedente de energía que generamos para comprimir el aire alternando procesos de compresión y enfriamiento, y se almacena en las reservas subterráneas. Existen dos tipos de sistemas que aprovechan el aire comprimido almacenado que son:

- Con emisiones. Se aprovecha el calor de la combustión de otro material (típicamente gas natural), para aumentar la temperatura del aire que se expande y genera energía en una turbina de expansión.
- Para no generar emisiones lo que necesitaremos es un almacenaje de energía térmica en donde almacenaremos el calor generado en la compresión del aire comprimido. Cuando necesitemos generar energía ese calor se usará para aumentar la temperatura del aire almacenado y que se expanda en la turbina generando energía eléctrica.

En la *figura 4.4* vemos representado una planta de almacenamiento de aire comprimido y posterior uso, mediante el uso de gas natural para la expansión del aire almacenado. En el caso de que fuera un sistema sin emisiones habría

que añadir a la representación un almacén de energía térmica y eliminar el proceso de combustión de gas natural, sustituyéndolo por un sistema de intercambio térmico.

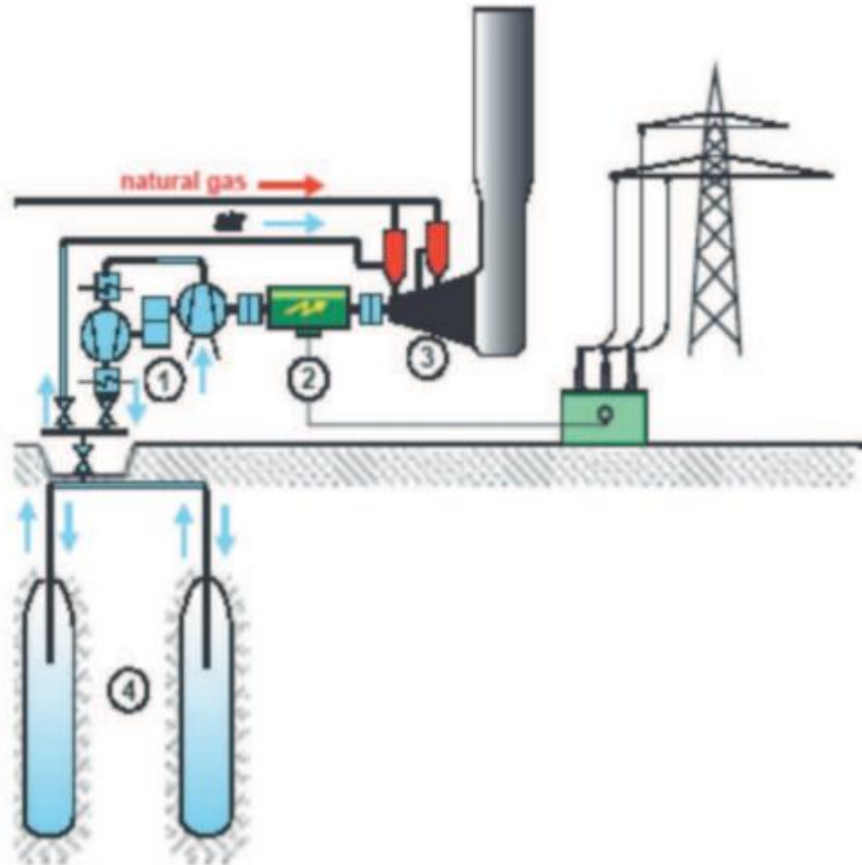


Figura 4.4: Esquema de planta de almacenamiento de energía mediante aire comprimido.

Una de las grandes desventajas de esta técnica de almacenamiento es la gran cantidad de energía que consume en la compresión, y, además, hay que tener en cuenta, que esta tecnología está muy limitada por las condiciones geográficas.

### 4.3.2. Almacenamiento de energía en volantes de inercia (FES)

El almacenamiento en volantes de inercia, también conocido como “Flywheel Energy Storage” consiste en una masa que gira y cuyo objetivo es almacenar energía. Estas masas lo que van a hacer es almacenar energía eléctrica que se les suministra, en forma de energía mecánica y para ello, necesitan tener un convertidor bidireccional para que almacenen energía y llegado el momento, la vuelvan a convertir en energía eléctrica para ser consumida.

Los principales usos que se le han dado a los volantes de inercia los comentamos a continuación.



- Usos relacionados con la calidad de la energía suministrada. En este caso podemos estar hablando de los sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), en los que se necesita un suministro continuo. Dado que el almacenamiento en volantes de inercia es un almacenamiento a corto plazo, nos será útil en estos casos para evitar cortes de suministro de duraciones muy reducidas. La mayor parte de los cortes de la red duran entre 3 y 19 segundos y mediante los volantes de inercia, podemos mitigar estos cortes. Es una tecnología que está presente en hospitales, aeropuertos, etc.
- Otro de los usos es para regular la frecuencia de suministro. Esto se produce cuando tenemos una cantidad de energía demandada, equilibrada con la energía suministrada y se produce una descompensación entre ambas. Mediante la instalación de volantes de inercia podemos evitar que el suministro se vea afectado.
- Uno de los usos más interesantes para nosotros es en microrredes de generación híbrida en las que se combina la energía eólica o solar con la energía que producen generadores Diesel. La energía que se produce en los generadores renovables no está disponible permanentemente, si no que presenta variaciones dependiendo del viento o del sol por ello los volantes de inercia son interesantes para equilibrar el suministro entre periodos de generación pico y valle y, de esta manera, reducir el número de paradas y arranques de los motores Diesel aumentando su vida útil y, consumiendo el combustible de manera más eficiente.
- Otros lugares en donde podemos encontrar esta tecnología de almacenamiento son en los vehículos híbridos, en catenarias de trenes y en la industria aeroespacial entre otros.

#### 4.3.3. Almacenamiento basado en bombeo hidráulico

El almacenamiento basado en el bombeo hidráulico es conocido por las siglas PHS, “Pumped Hydro Storage”.

La generación eléctrica en las presas o saltos de agua se basa en el fenómeno de la gravedad para hacer mover unas turbinas mediante el movimiento del agua almacenada en embalses.

A partir de esta generación, surge el almacenamiento de energía basado en el bombeo hidráulico en el que aprovecharemos la energía sobrante generada mediante algún sistema de generación. En la mayor parte de los casos el excedente vendrá de plantas de generación de energía renovable, donde no se puede controlar la generación, y aprovecharemos esta energía excedente para bombear agua a un almacenamiento situado por encima de las bombas.

Lo más usual es el uso de bombas reversibles que puedan funcionar tanto como bombas para almacenar el agua, como funcionar como turbinas para generar electricidad cuando sea necesario.

El agua que almacenamos la tendremos disponible para volver a dejar que fluya y mueva las turbinas que generan electricidad. Esta tecnología de almacenamiento es la más común hoy en día en cuanto a almacenamiento de cantidades de energía muy elevadas, además, van a tener unos porcentajes de eficiencia muy elevados y van a regular la diferencia de los precios en las horas pico y valle, además de proveer un almacenamiento de energía de emergencia.

Normalmente estos almacenamientos tienen la capacidad de estar funcionando entre 6 y 20 horas generando energía en caso necesario.

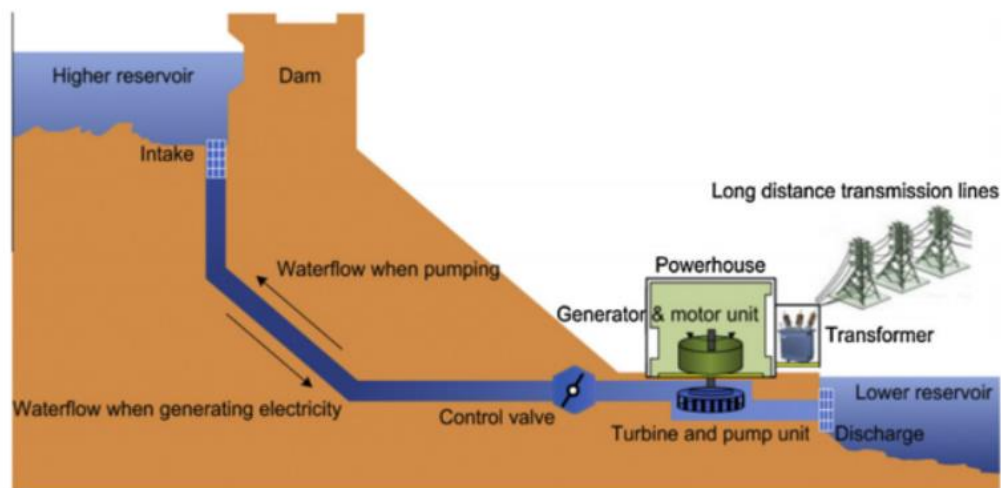


Figura 4.5: Esquema de un sistema de almacenamiento hidráulico.

#### 4.4. Almacenamiento térmico

Consiste en el almacenamiento de energía en sustancias capaces de mantenerse a unas temperaturas muy elevadas. Se suministra la energía en forma de calor a la sustancia que vayamos a almacenar pudiendo tratarse de sales fundidas, por ejemplo, y se almacena en tanques o cavidades subterráneas. A la hora de necesitar energía de la que hemos almacenado, se extrae esa energía del calor que tiene la sustancia almacenada.

Se trata de un almacenamiento de energía que no dura más que unas horas, aproximadamente 5 horas por lo que no resulta una alternativa muy interesante a la hora de almacenar energía.

Se utiliza en la mayoría de los casos en las centrales termo solares que calientan una sustancia y es fácil el almacenamiento de esta energía.

En la figura 4.6 vemos un esquema de las etapas que se siguen en un almacenamiento de energía térmica. En la primera etapa tenemos una planta

con colectores solares que obtienen la energía. En segundo lugar, esa energía es almacenada en tanques y por último se consume la energía cuando sea necesario.



Figura 4.6: Proceso de almacenamiento de energía en forma de energía térmica.

## 5. Análisis de distintas tecnologías de almacenamiento para Microrredes

Cuando buscamos el almacenamiento de energía correcto para nuestro caso, debemos prestar especial atención a la tecnología que seleccionemos, bien sea tecnología de baterías, u otros tipos de tecnologías utilizados actualmente en la acumulación de energía mundial.

Vamos a hablar principalmente de las baterías, pero también hablaremos de otras tecnologías como podrían ser los volantes de inercia, la acumulación de energía en centrales hidroeléctricas de bombeo, centrales de aire comprimido....

Iremos desarrollando los casos en los que se utilizan cada una de las tecnologías y las ventajas y los inconvenientes de cada una de ellas. Pero antes de comenzar debemos poder identificar qué tipo de instalación vamos a tener para poder comenzar con la búsqueda de una tecnología de acumulación adecuada.

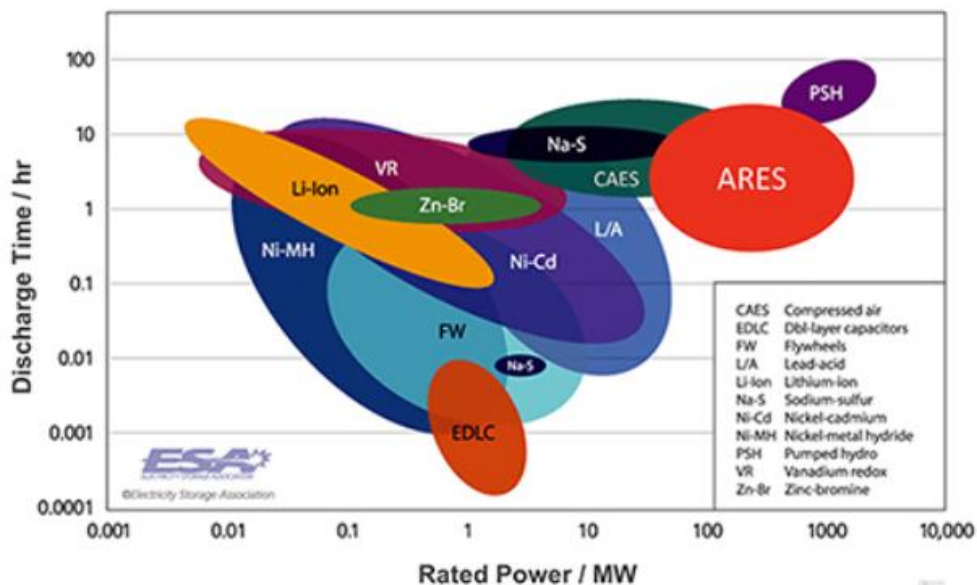


Figura 5.1: Diferentes tecnologías por tiempo de descarga y potencia.

### 5.1. Tipos de instalaciones

Los acumuladores solares son un sistema que nos permite rentabilizar nuestro sistema de generación de electricidad a partir de la energía solar, pero es interesante estudiar en los casos en los que instalar baterías nos es rentable y cuando va a suponer una inversión poco fructífera. Para tomar esta decisión vamos a hablar de los tipos de instalación y cuando son interesantes de usar.





1. Instalación no conectada a la red. El sistema de almacenamiento es imprescindible en este tipo de instalaciones ya que, sin ellas, no tendríamos disposición de electricidad en horas donde no hay energía solar.
2. Instalación conectada a la red. En este caso puede ser rentable la instalación de acumuladores o no. Si la instalación prevé elevados consumos durante las horas nocturnas en las que la generación de electricidad es nula, será recomendable la instalación de baterías, mientras que, si la mayor parte de la energía consumida en tu instalación es en horas de día, a priori podemos evitarnos la inversión en un sistema de almacenamiento.

## 5.2. Baterías electroquímicas para Microrred

Son un componente de gran importancia en las instalaciones de autoconsumo, ya que van a ser las encargadas de acumular la energía eléctrica que podemos aprovechar en momentos en que la generación de energía solar sea baja o nula, y de esta manera aprovechar al máximo la energía generada.

Además de acumular energía y almacenarla para su posterior uso, van a ofrecer otros beneficios que comentamos a continuación:

- Tienen un buen comportamiento frente a variaciones de consumo de energía en los electrodomésticos o consumidores de energía.
- Generan una contaminación prácticamente nula. Dependiendo del tipo de almacenamiento pueden producir ciertos gases. El mayor problema de contaminación surge en algunos casos con los materiales utilizados como puede ser el caso del plomo.
- Su vida útil es muy larga y con los avances esta vida es cada vez más larga llegando a alcanzar hasta los 15 años.
- El tamaño de las baterías, en comparación con otros sistemas de almacenamiento, es muy reducido y fácil de transportar o cambiar de lugar.
- Son escalables.
- Son muy rápidas en su respuesta frente a consumos.

Cuando hablemos del tipo de baterías utilizadas actualmente en las instalaciones solares de autoconsumo, nos referimos a ellas individualmente sabiendo que existe la posibilidad de realizar conexiones en serie y paralelo de las baterías lo cual resultaría en voltajes y capacidades superiores.

Vamos a analizar cada uno de los tipos de baterías utilizados en las instalaciones de energía solar, para así ser capaces de identificar los usos de cada uno y poder seleccionar la tecnología adecuada a instalar en nuestras instalaciones de generación.

Las baterías de litio son las que mejores prestaciones presentan y es por eso por lo que, pese a ser relativamente modernas, se han posicionado como las más utilizadas en las instalaciones de autoconsumo en viviendas frente a las económicas baterías de plomo-ácido.

En la *figura 5.2* podemos visualizar el conjunto de generación eólica y generación de energía solar, y vemos el almacenamiento de energía en contenedores de Siemens Gamesa. En este caso los contenedores contienen un conjunto de baterías de iones de litio con sistemas automáticos de detección de incendios.



Figura 5.2: Generación eólica y solar y almacenamiento en baterías.

### 5.2.1. Baterías de Plomo-Ácido

#### 5.2.1.1. Baterías de plomo ácido abierto (VRL)

Se trata del tipo de batería más barata actualmente en el mercado para uso solar o eólico. Su uso más común es en el sector del automóvil, pero hay casos en los que se utiliza como acumulador solar. Son baterías capaces de aportar mucha energía en periodos cortos de tiempo, por lo que se suelen utilizar como medio de arranque, aunque también son capaces de aportar pequeñas descargas y de manera prolongada.

Las baterías están conformadas por compartimentos individuales conectados entre sí en serie o paralelo, y cada uno de estos compartimentos, va a suministrar una tensión de aproximadamente 2 voltios. Los voltajes más comunes de estas baterías son 6 y 12 lo que implica 3 o 6 compartimentos



respectivamente. Cada una de las celdas está anegada del electrolito, que será una mezcla de agua destilada y ácido sulfúrico y también, en su interior, se encuentran las placas de plomo que serán positivas y negativas.

Para el caso en que la batería se encuentra cargada, la placa de plomo positiva va a estar recubierta de dióxido de plomo. Cuando se va descargando la batería, la placa negativa, se va recubriendo de sulfato de plomo. Este es el resultado de las reacciones químicas que se producen en el interior de las celdas en los ciclos de carga y descarga.

Uno de los grandes problemas de este tipo de acumuladores, es que son abiertos, lo que implica que los gases producidos en la reacción química van a salir, por lo que, no se recomienda su instalación en lugares cerrados. A consecuencia de esto, las baterías van a requerir de un mantenimiento, será necesario rellenar la batería con agua destilada.

Otro de los problemas de estas baterías es la formación de cristales de sulfato. Estos cristales se forman cuando la batería se descarga frecuentemente por debajo de lo indicado, cuando se carga poco o permanece mucho tiempo descargada. Los cristales de sulfato, llega un momento en el que no son capaces de transformarse de nuevo en ácido sulfúrico, en este caso se dice que la batería ha sulfatado y va llegando al final de su vida útil.

A raíz de lo anterior, para aumentar la vida útil de las baterías de plomo ácido abiertas lo ideal será:

- Vigilar la temperatura a la que trabaja la misma ya que las temperaturas elevadas disminuyen la vida útil de las baterías. Por el contrario, si la temperatura disminuye por debajo de 0, se corre el riesgo de que el electrolito se congele, esto implica que aumente su volumen y pueda dañar a la batería. La temperatura ideal de almacenamiento de la batería es de 25°C.
- Intentar evitar las descargas por encima del 80% ya que si se producen frecuentemente descargas por encima se comenzarán a formar cristales. Lo ideal sería intentar que las descargas no superen el 50%.
- Debido al alto porcentaje de autodescarga, tendríamos que realizar recargas periódicas de la batería ya que el nivel de carga podría bajar del 20% y se comenzase a sulfatar la batería.
- Otra cosa para tener en cuenta es el nivel de agua destilada. Debemos vigilar el nivel ya que, si se evapora el agua destilada completamente, podría comenzar a evaporarse el ácido.



Teniendo en cuenta todo lo comentado anteriormente, tendremos una vida útil media de estas baterías de 4 años, pudiendo haber variaciones entre los 3 y los 7 años de vida.

A continuación, ofrecemos un resumen de las características de las baterías de plomo ácido abiertas, para poder ver de manera más clara en que aplicaciones podríamos utilizar este tipo de baterías.

- Electrolito conformado por ácido sulfúrico mezclado con agua destilada. Electrodo positivo formado por una placa de plomo recubierta de óxido de plomo. Y el electrodo negativo está formado por una placa de plomo recubierta de plomo esponjoso.
- Las tensiones nominales más comunes son 6 y 12 voltios.
- **SI** requieren de **mantenimiento** periódico.
- **SI** van a **generar gases** al exterior por lo que habría que instalarlas en lugares abiertos o bien ventilados.
- **NO** existe la posibilidad de **descarga profunda** siendo la profundidad de descarga máxima el 80% y la recomendada del 50%.
- **NO** se ven afectadas por el **efecto memoria**.
- El precio es el más económico de todas las baterías que podamos instalar en nuestra instalación solar.
- Se estima que soporta unos **300 ciclos de vida** (Aunque depende del tratamiento que le demos).
- En el mercado hay baterías de entre **7 Ah y 300 Ah**

Una vez analizados las características principales de este tipo de tecnología, podemos analizar los usos que se le pueden dar en instalaciones renovables. Como podemos ver, las capacidades de las baterías son bastante reducidos y quedan aún más reducidos si le aplicamos la profundidad de descarga que recomiendan para este tipo de baterías, por lo que será útil este tipo de baterías en instalaciones de pequeño tamaño o en las que su uso no sea diario, sino, de manera ocasional sin perder de vista el mantenimiento que requiere la misma. El mantenimiento va a suponer un problema, cuantos más usos le demos a la batería van a requerir de un mantenimiento más periódico. Además, no hay que perder de vista la cantidad de ciclos aproximados que soportan.

En la *figura 5.3* podemos ver una batería de plomo ácido abierta. Se trata de una batería de la empresa U-Power con un voltaje nominal de 12v y una

capacidad nominal de 250 Ah. Los ciclos de vida estimados para esta batería se encuentran en 300 (con D.O.D. 50%) y el precio se mueve en torno a los 300€. El vendedor recomienda el uso de este modelo de batería para pequeñas instalaciones solares, luces de emergencia, equipos de riego...



Figura 5.3: Batería 250Ah 12V UPower SPO250.

### 5.2.1.2. Baterías plomo ácido AGM (Absorbent Glass Mat)

Se trata de una batería regulada por una válvula de seguridad VRLA, perteneciente al grupo de baterías de plomo-Ácido. Es una versión más desarrollada de la batería de plomo ácido con el electrolito gelificado.

Estas baterías se caracterizan por presentar el electrolito inmovilizado en vez de líquido, como es el caso de las baterías típicas de plomo ácido, o gelatinoso, como en el caso de las baterías de gel.

Para inmovilizar el electrolito lo que se hace es impregnar placas de fibra de vidrio con ácido sulfúrico y agua destilada, de esta manera el electrolito se encuentra empapando las gasas de fibra de vidrio en vez de en un depósito líquido.

Su funcionamiento es similar al de las baterías de plomo, también está dividida en compartimentos o celdas que aportan una tensión de 2 voltios al cómputo general de la batería. Los electrodos están formados por plomo en sus diferentes versiones y se va a formar también dióxido de plomo y sulfato de plomo cuando la batería se carga o descarga. La principal diferencia con las baterías estándar de plomo ácido es que esta se encuentra cerrada herméticamente por lo que no requiere de mantenimiento ni tampoco va a generar gases contaminantes, por lo que se puede instalar en lugares interiores.

Son ideales para instalaciones que van a implicar una elevada intensidad de carga, que cuenten con gran número de electrodomésticos con motores



eléctricos conectados al mismo tiempo, aunque esto siempre va a depender de la autonomía que se le quiera dar a la batería. Ocurre como en el resto de las baterías de plomo ácido, se recomienda que la profundidad de descarga no supere el 80% de la carga de la batería para así alargar la vida de esta.

Pese a no requerir de un mantenimiento periódico, cabe destacar que hay que tener en cuenta una serie de formas de utilizar la batería para conseguir alargar la vida útil al máximo. A continuación, comentamos algunos aspectos que se deben tener en cuenta.

- En primer lugar y como ya hemos mencionado anteriormente, se recomienda que las descargas no superen el 80% de la descarga en ningún caso ya que esto va a reducir considerablemente la vida de la batería si sucede varias ocasiones. La profundidad de descarga que se recomienda es del 50%, de esta manera podremos aumentar los ciclos de vida.
- Otro aspecto importante, es que estas baterías no soportan las sobrecargas que se producen al cargar la batería más de su capacidad. Se evaporará gran cantidad de agua destilada y al ser baterías cerradas el vapor se almacenará aumentando mucho la temperatura de la batería. Podría suceder que los compartimentos plásticos de las celdas se deteriorasen afectando a la batería por lo que conviene vigilar los parámetros del fabricante y comprobar el estado de la batería.
- Por último, las baterías AGM son sensibles a las altas temperaturas y condiciones climatológicas extremas por lo que se recomienda la instalación en el interior de este tipo de baterías. Y no corren tanto riesgo de congelación como en el caso de las baterías convencionales con electrodo líquido.

Pese a no requerir de un mantenimiento periódico conviene seguir las recomendaciones de uso anteriores para conseguir una vida mayor de la batería y así conseguir una mayor rentabilidad económica.

A continuación, vamos a comentar de manera resumida las características principales de este tipo de tecnología de almacenamiento de energía, para ser capaces de encuadrar estas baterías en unas instalaciones u otras.

- Electrolito conformado por ácido sulfúrico mezclado con agua destilada e inmovilizado en unas placas o gasas de fibra de vidrio. Electrodo positivo formado por una placa de plomo recubierta de óxido de plomo. Y el electrodo negativo está formado por una placa de plomo recubierta de plomo esponjoso.
- Las tensiones más típicas para esta tecnología son de 6 o 12 voltios.

- **NO** requieren de **mantenimiento** periódico.
- **NO** van a expulsar **gases tóxicos** al exterior, por lo que su instalación se puede realizar en interiores.
- **NO** existe la posibilidad de **descarga profunda**, siendo la profundidad de descarga máxima el 80% y la recomendada del 50% aunque soportan mejor las descargas profundas que las baterías convencionales de plomo ácido.
- **NO** se ven afectadas por el **efecto memoria**.
- Son más caras que las VLA, pero también otorgan una vida útil mayor. Tienen un coste aceptable en calidad/precio.
- Los ciclos de vida se estiman en unos **500** aunque con un buen uso de las baterías se podrían alcanzar sin mayores problemas los **800 ciclos**.
- Las capacidades con las que trabajan son similares a las de los otros tipos de baterías de plomo ácido siendo entre los **7 Ah** y los **300 Ah**.
- Resisten bien las vibraciones y golpes ya que se encuentran cerradas herméticamente y no hay posibilidad de derrame de ácido.

Este tipo de tecnología de almacenamiento se utiliza en pequeñas instalaciones solares, ya sea en una vivienda, caravana, barco... También se destaca su uso como batería de uso ocasional para consumos puntuales. Y sobre todo destaca su uso para motores que requieren gran intensidad de descarga.



Figura 5.4: Batería AGM 12V 300Ah Tensite.



En la *figura 5.4* podemos ver una batería del tipo AGM de Plomo y Ácido. Se trata de una batería de la empresa Tensite con una capacidad de 300 Ah, con un voltaje nominal de 12V y una esperanza de vida en ciclos de 800. El precio ronda los 420€. Se trata de una batería para un uso doméstico.

### 5.2.1.3. Baterías Plomo Ácido tipo gel

Es una batería perteneciente a la familia de las de plomo ácido con válvula de seguridad, por lo tanto, se trata de una batería de Plomo ácido VRLA. Lleva instalada una tecnología muy parecida a la de plomo ácido tipo AGM.

La principal diferencia que tiene con las baterías AGM es que, en el caso de esta tecnología, el electrolito se encuentra de manera viscosa, que es el resultado de una reacción química entre el ácido sulfúrico y la sílice.

Su funcionamiento es igual al de las baterías de plomo ácido convencionales, los electrodos reaccionan químicamente con el electrolito que en este caso se encuentra inmovilizado, siendo una masa viscosa que da nombre a este tipo de tecnología. Se van a producir gases, pero al tratarse de una batería herméticamente cerrada no van a ser expulsados al exterior y se van a poder recombinar en agua en procesos posteriores. Gracias a la recombinación de los gases en agua no van a requerir de un mantenimiento periódico, ya que no será necesario comprobar el nivel de agua destilada de las baterías.

Se trata de baterías muy sensibles a los picos de voltaje y muy sensibles a las sobrecargas, su vida útil se vería muy afectada si no se tiene precaución con estas dos cosas. Además, la carga de la batería a un voltaje incorrecto supondría una disminución de los ciclos. Para evitar problemas de este tipo se debe seleccionar de manera correcta el regulador de carga y se debe realizar la configuración de este de manera correcta, ya que, de lo contrario, se podrían producir fallos y reducir su rendimiento.

Por lo tanto, son baterías que no requieren de un mantenimiento periódico, pero conviene realizar correctamente la instalación de todos los componentes necesarios para su carga y funcionamiento.

No presentan problemas de corrosión al no tener el ácido líquido y ser cerradas herméticamente, por lo que evita quemaduras por ácido. Resisten perfectamente a las vibraciones.

Presentan grandes problemas frente a temperaturas extremas en el ácido, ya que puede provocar la solidificación completa del mismo y que se encoja y aleje de las placas de plomo.

A continuación, se comenta de manera resumida las características más importantes y que debemos tener en cuenta a la hora de realizar la selección de la batería para nuestro sistema de generación renovable.





- Los electrodos son placas conformadas por plomo en sus diferentes versiones, y el electrolito se trata de ácido sulfúrico diluido en agua destilada con la peculiaridad de que se le añade una disolución de sílice que transforma el electrolito en un material viscoso o gel.
- Sus voltajes típicos son de 12 v, aunque también podemos encontrar baterías que trabaja a 6 voltios.
- **NO** requieren de **mantenimiento** periódico.
- La generación de gases tóxicos es nula, pero, si pudiera darse el caso de que expulsen ciertos gases no tóxicos pero que no supondrían un problema a la hora de instalar las baterías en interiores.
- Son baterías que **SI** son capaces de trabajar en **ciclo profundo** sin suponer una reducción de la vida útil. Cuando hablamos de ciclo profundo nos referimos a una descarga de máximo el 80% de la capacidad de la batería.
- **NO** se ven afectadas por el **efecto memoria**.
- Se trata de las baterías más caras dentro de las de plomo ácido pero que también van a soportar más ciclos de vida útil.
- Los ciclos de vida aproximadas que se estiman son de unos 1.200 ciclos pudiendo variar entre los 500 y los 5.000
- Las capacidades que podemos encontrar en estas baterías van desde los 7 Ah hasta los 500 Ah.
- Resisten bien las vibraciones y golpes ya que se encuentran cerradas herméticamente y no hay posibilidad de derrame de ácido.

Al igual que todas las baterías de plomo ácido su uso radica principalmente en pequeñas instalaciones solares como podría ser una vivienda, una caravana, barcos... la diferencia principal a la hora de decidir entre una batería AGM y una de gel va a estar en el clima en el que se instale. Las de gel funcionan mejor en climas más cálidos y van a tener más ciclos de carga/descarga, pero también su precio es más elevado, por ello, hay que hacer una valoración de las características requeridas.

En la *figura 5.5* vemos una batería de plomo ácido de tipo gel. Se trata de una batería de la empresa MK Powered con una capacidad de 225 Ah y una tensión de 12 voltios. Su precio se encuentra en 930€ y los ciclos de vida aproximados que es capaz de aguantar son unos 1.000 aproximadamente. De nuevo la

batería de ejemplo mostrada en la *figura 5.5* es una batería para uso doméstico o en pequeñas instalaciones de almacenamiento.



*Figura 5.5: Batería GEL MK 8G8D 225Ah 12V.*

### 5.2.2. Baterías estacionarias

La principal diferencia de estas baterías con las baterías de plomo-ácido comentadas anteriormente es la distribución. En el caso de las anteriores eran casos de Monoblock, esto quiere decir que dentro de la batería había diferentes compartimentos con un electrodo positivo y uno negativo. En el caso de las estacionarias o de 2V, cada batería está formada por un electrodo positivo y uno negativo en forma de placa tubular. La placa tubular nos va a dar el beneficio de que la cantidad de superficie en contacto con el electrolito es superior.

Para conseguir los 12V de las baterías monobloque lo que haremos será conectar estas baterías estacionarias en serie, sumando los voltajes, es decir, para conseguir 12V debemos conectar 6 baterías estacionarias de 2V. Asimismo las baterías estacionarias aportan capacidades muy superiores a las que nos aportaría unas baterías Monoblock.

El tamaño de estas es mayor, siendo su altura mucho más elevada, lo que va a resultar en que ocupen mucho más espacio, pero también tienen una durabilidad mayor. Van a suponer un coste bastante más elevado que su equivalente en monobloque, pero ofrecen una durabilidad mucho mayor. Iremos comentando las peculiaridades de cada uno de los tipos de baterías de vasos o baterías estacionarias.

Los tipos de baterías estacionarias más utilizados son las llamadas OpzS y las OpzV, aunque también tenemos las TOPzS.

Todos los subtipos de baterías estacionarias tienen en común que soportan varios ciclos de descarga profunda y dan una respuesta rápida y óptima ante cualquier tipo de consumo.



### 5.2.2.1. Baterías estacionarias OpzS

Las baterías OpzS (Ortsfest PanZerplatte Flüssig), son baterías de placa de plomo tubular con electrolito líquido. Su funcionamiento es igual al funcionamiento de una celda de las baterías monobloque de plomo ácido abierto.

La batería tiene un tamaño superior al de una celda del monoblock, y la principal diferencia es que los electrodos están en forma de placa plana tubular, lo que va a implicar una mayor superficie de contacto con el electrolito que en este caso es líquido. El electrolito está formado por una disolución de ácido sulfúrico y agua destilada.

Como se trata de baterías abiertas vamos a necesitar realizar un mantenimiento periódico, necesitaremos mantener el nivel del ácido sulfúrico en los niveles indicados por el fabricante. Además, al tratarse de baterías abiertas se va a producir la expulsión de gases por lo que la instalación debe realizarse en el exterior o en lugares bien ventilados.

Estas baterías van a presentar los mismos problemas de sulfatación que el monobloque, es decir con el tiempo y si permanecen mucho tiempo descargadas completamente, se corre el riesgo de la formación de cristales de sulfatación que van a reducir de manera considerable la vida útil de la batería.

Las características principales de esta batería, aunque son muy similares a las de las baterías de plomo ácido abierto monobloque, las comentaremos de manera resumida a continuación haciendo hincapié en las diferencias que puedan surgir entre ambas.

- Los electrodos están formados por placas planas tubulares de plomo aleado con algún metal para otorgarle características diferentes. El electrolito es ácido sulfúrico.
- El **voltaje nominal** es de **2V**, pero en la mayoría de los casos los vendedores suministran las baterías con los útiles necesarios para conectar varios vasos en serie para sumar voltajes. Lo más común es juntar 6, 12 o 24 baterías alcanzando los 12V, 24V, o 48V respectivamente.
- **SI** requieren de **mantenimiento periódico**. Se recomienda revisar el nivel del electrolito y además se recomienda cada 6 meses realizar una medición del voltaje, densidad y la temperatura de cada elemento.
- **SI** expulsan **gases** que pueden ser perjudiciales, como sería el caso del hidrógeno por lo que deben instalarse o almacenarse en lugares con buena ventilación. Además, les afecta mucho la temperatura siendo su



temperatura ideal de trabajo de 25°C por lo que conviene mantener esa temperatura en el lugar de instalación de las baterías.

- **SI** son capaces de trabajar con descargas profundas sin afectar a la vida útil de la batería, es decir son baterías de **ciclo profundo**.
- **NO** se ven afectadas por el **efecto memoria**.
- Tienen porcentajes de **autodescarga** muy **reducidos**.
- Los ciclos de vida aproximados son de **2.500-3.000 ciclos**. Es decir, soportan muchos más ciclos de carga/descarga que las baterías de plomo ácido abiertas monobloque.
- Económicamente compensan ya que el aumento del precio frente a las VLA Monoblock, está compensado con mayores capacidades de almacenamiento y con mayores ciclos de vida.
- Las capacidades de los módulos de 2v van desde los **100Ah** hasta los **4.000Ah**.

Merece la pena comentar un dato curioso sobre la cubierta de la batería. Existen diferentes materiales que conforman la cubierta de las baterías. Originalmente el material era polipropileno opaco que tras un tiempo de uso se deformaba abombando la cubierta. A este tipo de baterías se les conoce como CPzS. Actualmente se pueden comprar los vasos con un material plástico transparente que, aunque sea más caro evita la deformación. Las baterías con material traslúcido las identificaremos como TOPzS.

Otra manera de evitar la deformación es proteger los módulos con una carcasa que nos venden los fabricantes, en la que podemos incluir todos los módulos para alcanzar 6, 12, 24 ... voltios.

Los usos de estas baterías son principalmente en instalaciones domésticas con un importante gasto eléctrico diario. Podremos tener varios electrodomésticos, frigorífico, cocina, lavadora, sistema de iluminación y además como hemos comentado cuentan con una larga vida útil.

Los vendedores de este tipo de baterías normalmente venden a mayores de las baterías individualmente de 2V, un conjunto de módulos que unidos formen una batería de 6v, 12v, 24v, 48v.

En la *figura 5.6* tenemos un ejemplo de batería de tipo OPzS. Se trata de una batería de la empresa Hoppecke con un voltaje de 2 voltios y una capacidad nominal de 4.340 Ah. Es capaz de almacenar 8.68 kWh de energía y tiene una duración aproximada de cada una de las células de 3.000 ciclos. Las 6 baterías de la imagen serán capaces de suministrar 12 voltios y de almacenar una

energía aproximada de 52 KWh. El coste de las 6 baterías es de aproximadamente 8.700 euros.



Figura 5.6: Baterías Hoppecke OPzS 4340.

#### 5.2.2.2. Baterías CPzS y TOPzS

Estas baterías son básicamente las mismas baterías que las OpzS, pero vamos a comentar a continuación las principales diferencias entre estas 3 baterías.

En primer lugar, el material plástico que recubre la batería y que podemos ver a simple vista las diferencias en la figura 5.7.

- En el caso de las baterías CPzS el material que contiene a cada uno de los módulos es de polipropileno flexible y opaco. Se trata de un material que se va a abombar con el tiempo de uso de la batería, por ello conviene almacenarlas en una cubierta. Al tratarse de un material flexible va a ser en parte resistente a golpes.

- Por otro lado, en las baterías OpzS, encontraremos que la cubierta está hecha de SAN, material transparente, resistente contra ácidos muy elegante, pero más caro. Este material no es tan flexible por lo que corremos el riesgo de que la cubierta se raje si recibe algún golpe.
- Por último, tenemos las baterías TOPzS, cuya cubierta está hecha de polipropileno translúcido. Es un material más barato, flexible y translúcido. Es más resistente frente a los golpes que el SAN, pero de nuevo tiende a hacer “Barriga” si no se coloca en un rack.

Otra de las cosas en las que podemos encontrar ciertas diferencias, es en la capacidad de almacenamiento de electrolito y por ello en el tiempo de requerimiento de mantenimiento.

- En el caso del CPzS tenemos por lo general menores almacenamientos de electrolito y es por ello por lo que los mantenimientos para rellenar agua se van a tener que realizar cada 2 o 3 meses.
- Para las baterías de OpzS el tiempo de mantenimiento puede llegar a ser el doble. Contienen mayor cantidad de agua almacenada
- En última instancia las baterías TOPzS alcanzan almacenamientos muy similares a los de las CPzS por lo que necesitan mantenimientos con más frecuencia que las OpzS.



Figura 5.7: Comparativa CPzS, OPzS y TOPzS.

Por último y como consecuencia de lo comentado anteriormente debemos hablar de los precios de estas. Se trata de las mismas baterías, Su funcionamiento es idéntico y soportan el mismo número de ciclos. Pero debido al encarecimiento del material utilizado en el caso de las OpzS, estas baterías serán también más caras que en los otros dos casos.



### 5.2.2.3. Baterías OpzV

Las baterías OPzV (Ortsfest PanZerplatte Verschlossen), son baterías estacionarias de placas planas tubulares con electrolito sólido en forma de gel. Se trata del mismo funcionamiento que las baterías Monobloque de plomo ácido tipo gel.

La principal diferencia con las baterías monobloque es que estas baterías al ser estacionarias solo contienen en su interior lo que sería una celda del monoblock. El tamaño va a ser mayor que una celda lo que va a implicar un mayor contacto entre los electrodos y el electrolito y un mayor depósito de electrolito.

La principal característica de este tipo de tecnología, al igual que en el caso del tipo gel, es que no requieren de ningún tipo de mantenimiento a lo largo de su vida útil y es la principal diferencia que mantienen frente a las baterías OPzS.

Tiene un sistema de recombinación de los gases generados en las reacciones químicas que existen en su interior cuando se carga o se usa la carga de la batería, aunque cuenta con una válvula de regulación que se abrirá en caso de que la presión de los gases en el interior supere un límite establecido.

Al contar con el electrolito inmovilizado, son más versátiles en cuanto a la colocación de estas ya que se pueden colocar volcadas unas encima de otras sin riesgo de derrame de líquidos.

El material del que está compuesta la cubierta es de ABS (acrilonitrilo butadieno estireno). Se trata de un material resistente que no es transparente, característica que no necesitamos en este tipo de baterías dado que tienen un mantenimiento nulo. Además, el material es bastante resistente y no se deforma.

A continuación, vamos a comentar las principales características de las baterías OPzV. Van a ser muy similares al monobloque de tipo gel, pero con algunas diferencias que veremos a continuación.

- Los electrodos están formados por placas planas tubulares de plomo aleado con algún metal para otorgarle características diferentes. El electrolito es ácido sulfúrico y agua mezclado con sílice pirogénica para inmovilizar al mismo.
- El **voltaje nominal** es de **2V**, pero los vendedores venden estas baterías en pack para alcanzar voltajes de 6, 12... De hecho, los vendedores no recomiendan comprar baterías individualmente ni tan siquiera en el caso de que tengas que cambiar sólo una ya que degrada en mayor medida al resto.



- **NO** requieren de **mantenimiento** periódico.
- **NO** expulsan **gases** normalmente. Al contar con una válvula de regulación, en caso de que la presión se eleve por encima de la permitida, dejarán salir cierta parte de los gases, pero no supondrían ningún peligro.
- **SI** son capaces de trabajar con descargas profundas sin afectar a la vida útil de la batería, es decir son baterías de **ciclo profundo**.
- **NO** se ven afectadas por el **efecto memoria**.
- Tienen porcentajes de **autodescarga** muy **reducidos**.
- Los ciclos de vida aproximados son de **2.500-3.000 ciclos**. Es decir, soportan muchos más ciclos de carga/descarga que las baterías de plomo ácido tipo gel monobloque.
- Económicamente compensan ya que el aumento del precio frente a las VRLA Monoblock está compensado con mayores capacidades de almacenamiento y con mayores ciclos de vida.
- Las capacidades de los módulos de 2v van desde los **200Ah** hasta los **4.300Ah**.

Las aplicaciones de estas baterías suelen ser en lugares desconectados de la red o de difícil acceso de esta, ya que al no requerir de mantenimiento, les hace ideales para ello. Además, son muy resistentes a las temperaturas y están fabricadas con el objetivo de funcionar en ciclo profundo. Su durabilidad es muy elevada en número de ciclos y no se ve afectada su vida útil trabajando en ciclo profundo, aunque siempre será mejor no alcanzar descargas superiores del 50%.

Un ejemplo de una batería estacionaria tipo OPzV sería la que vemos en la *figura 5.8* que se trata de una batería de la empresa BAE con una capacidad de almacenamiento de 1.900 Ah y una vida útil aproximada de 3.000 ciclos. El coste unitario de cada batería de este tipo es de aproximadamente 800 € y es capaz de almacenar 3.8 KWh.





Figura 5.8: Batería OPzV de la empresa BAE 1900Ah.

#### 5.2.2.4. Baterías estacionarias de 6V

Se trata de un tipo de baterías estacionarias que ya hemos visto anteriormente. Estas baterías tienen la tecnología de las baterías OPzS, OPzV y TOPzS.

Son bastante comunes en el mercado de EE. UU. y tiene como principales características las propias de cada uno de los tipos.

La principal idea de estas baterías es la de ahorrar en material del contenedor. Es decir, lo que haremos será tener la tecnología de placa plana tubular, o sea, la tecnología de las baterías estacionarias pero almacenadas varias celdas dentro de un contenedor como sería el caso de baterías monobloque.

Lo que conseguimos con esta fusión es reducir el espacio que ocuparían baterías estacionarias, ahorrar en material de la carcasa y la más importante, podríamos trabajar en ciclo profundo y con la durabilidad de las baterías estacionarias.

El costo de la carcasa no llega a ser tan barato como el de las carcasas monobloque, pero al utilizar la misma carcasa para 3 celdas, nos ahorraremos parte del costo de utilizar 3 baterías estacionarias independientes.

Van a ser baterías fáciles de transportar, con un tamaño adecuado para instalaciones en viviendas y se recomienda mucho su utilización en capacidades de entre 500 y 700 Ah.



### 5.2.3. Baterías de Ion-Litio

Las baterías de liones de litio ofrecen propiedades muy interesantes frente a las que podrían ofrecernos baterías con otras tecnologías diferentes. Existen 3 tipos que van a depender del material del que se componen los electrodos.

- Baterías de óxido de cobalto/Litio.
- Baterías de óxido de magnesio/Litio.
- Baterías de Litio/ Fosfato de Hierro.

En el caso de las 2 primeras baterías van a presentar problemas de seguridad y problemas de rendimiento respectivamente, y es por ello, por lo que las más utilizadas en el ámbito de almacenamiento de energía proveniente de generación renovable, son las baterías de Ion-Litio Ferro fosfato de Hierro ( $\text{LiFePO}_4$ ).

Se trata de las baterías más seguras de las comentadas anteriormente, y cómo hemos comentado, las que mejores características tienen para ofrecer al mundo del almacenamiento de energía solar y eólica.

Son baterías con una densidad de energía muy superior a las convencionales de plomo ácido, es decir, van a ocupar menos espacio o van a almacenar más energía en el mismo espacio ocupado. Esto va a ayudar a que se trate de baterías más ligeras y fáciles de manejar.

Otra de las características de estas baterías es que están formadas por celdas al igual que las baterías de Pb-Ácido, pero cada una de las celdas que la componen van a aportar al conjunto 3,2v. Por ello, una batería de litio con 4 celdas va a tener un voltaje de 12.8v.

En consecuencia, con el mayor voltaje de cada una de las celdas, van a tardar menos tiempo en realizar los ciclos de carga ya que van a necesitar menor corriente para almacenar la misma cantidad de energía.

Una gran ventaja de las baterías de Li-Ion, es que la profundidad de descarga de estas puede llegar a ser hasta del 100%, destacando que, en caso de realizar ciclos de descarga profunda, la batería no sufrirá una reducción de los ciclos de vida como sí que ocurría en las baterías de plomo y ácido, en las que se recomendaban descargas de 50% pudiendo llegar al máximo de 80%, pero sabiendo que iban a sufrir degradación a mayor velocidad.

Otra de las grandes ventajas de las baterías de  $\text{LiFePO}_4$  es la durabilidad. Aguantan más de 4.000 ciclos de carga/descarga con una profundidad del 80%. Recordamos que de las baterías plomo ácido, las estacionarias son las



que más ciclos podían soportar y eran de unos 3.000 ciclos, pero con una D.O.D. del 50%.

A continuación, vamos a mencionar las desventajas de estas baterías que se basan simplemente en el precio, que es muy elevado, aunque cada vez se van reduciendo más estos precios. Y otra de las principales desventajas es que no son capaces de suministrar energía suficiente para picos de consumo muy elevados. Esto podría derivar en un problema al instalar estas baterías en viviendas o incluso al instalarlas en zonas de industria.

Como medida de seguridad deben ir instaladas junto a un controlador BMS (Battery Management System) debido a que son algo inestables y deben controlarse la temperatura y la tensión de las baterías. Pese a requerir de un cierto control son baterías libres de mantenimiento.

Vamos a comentar las principales características de este tipo de baterías de una manera resumida.

- Los electrodos están formados por placas planas tubulares de plomo aleado con algún metal para otorgarle características diferentes. El electrolito es ácido sulfúrico y agua mezclado con sílice pirogénica para inmovilizar al mismo.
- El **voltaje nominal** es muy **variable**. Hay que tener en cuenta que cada celda que contiene la batería aporta al cómputo general 3.2V por lo que podemos tener baterías de un voltaje muy elevado.
- **NO** requieren de **mantenimiento** periódico.
- **NO** expulsan **gases**, aunque si tienen riesgo de incendio por la gran densidad de energía con la que cuentan.
- **SI** son capaces de trabajar con descargas profundas sin afectar a la vida útil de la batería, es decir son baterías de **ciclo profundo**.
- **NO** se ven afectadas por el **efecto memoria**.
- Tienen porcentajes de **autodescarga** muy **reducidos**.
- Los ciclos de vida aproximados son de **superiores a los 6.000 ciclos**. Es decir, soportan muchos más ciclos de carga/descarga cualquier tipo de batería de plomo ácido.
- Económicamente resultan en primera instancia más caras que cualquiera con una tecnología diferente, pero a la larga, resultan económicas por el servicio que dan.



### 5.3. Almacenamiento en centrales hidroeléctricas de bombeo

Se trata del sistema de almacenamiento más maduro, que ha sido utilizado desde los años veinte. Su funcionamiento está basado en el almacenaje de agua en un embalse superior desde uno inferior o desde un río o masa de agua.

Para que esta tecnología sea eficiente debe haber un desnivel de al menos 100 metros y una generación extra de energía que no se va a consumir, es decir, en las horas valle tendremos un exceso de energía generada que vamos a utilizar para bombear agua al embalse superior del que hablábamos.

Cuando la demanda de energía aumenta y la producción se encuentra por debajo de la demanda, la central se pone en funcionamiento funcionando como una central hidroeléctrica convencional. El agua almacenada comienza a circular por unos conductos que llegan a una turbina que será la encargada de transformar la energía mecánica obtenida por el desnivel, en energía eléctrica

Existen dos tipos de centrales de bombeo. Una es el bombeo puro y la otra es el bombeo mixto.

- Centrales de bombeo puro. La única manera de generar energía a partir del agua es bombeando previamente el agua al embalse superior.
- Centrales de bombeo mixto. Se trata de una central convencional en la que el agua circula y genera electricidad, y a mayores existe un sistema de bombeo desde un embalse inferior que se pone en funcionamiento cuando existen excesos de energía en la red.

En España existen más de 24 centrales de bombeo. 16 de bombeo mixto con una potencia de 2.500MW y 8 de bombeo puro con una potencia total de 5.000MW.

A continuación, comentaremos las principales características de esta tecnología de manera resumida.

- Se trata de una solución de almacenamiento para grandes cantidades de energía Y con un enfoque a largo plazo ya que el agua puede quedar almacenada en el embalse superior de forma indefinida.
- Una ventaja para destacar es que no requieren de mucho mantenimiento.
- Está condicionado por las limitaciones geográficas.
- Tiene un elevado coste inicial ya que aparte de todo el sistema de la central hidroeléctrica, hay que realizar modificaciones de terreno o crear presas para contener y almacenar el agua.

Para hacernos una idea del tamaño de las centrales en cuanto a la energía que son capaces de almacenar vamos a plantear varios ejemplos de almacenamientos de energía en centrales hidroeléctricas de bombeo que existen en el mundo.

#### CENTRAL DE BATH COUNTY. ESTADOS UNIDOS



Figura 5.9: Central de Bath County. Estados Unidos.

Esta central de almacenamiento de energía es denominada la batería más grande del mundo. Se trata de la instalación de este tipo más grande del mundo pudiendo llegar a almacenar 3.003 MW. Como podemos ver en la figura 5.9, está conformada por dos depósitos de agua con un desnivel entre ellos de 380 metros. Durante las horas de demanda de energía baja se impulsa agua al depósito más elevado y durante las horas de mayor demanda se deja caer el agua almacenada haciéndola pasar por un sistema de turbinas que generan electricidad.

El sistema de turbinas está formado por 6 turbinas capaces de generar 500MW cada una y tienen una potencia de bombeo de 480 MW.

#### LA CENTRAL DE ENTRACQUE, ITALIA

Se trata de la central hidroeléctrica de bombeo más grande de la región de Italia y una de las más grandes de toda Europa. La central está formada por dos presas capaces de almacenar 42 millones de metros cúbicos de agua en total.



Figura 5.10: Central de Entracque, Italia.

Se trata de dos centrales con dos depósitos superiores diferentes pero que comparten el depósito inferior, que es el Lago della Piastra. Los dos depósitos superiores son el Lago del Chiotas y el Lago della Rovina.

Tendremos por tanto dos centrales que serán la planta Chiotas-Piastra con 8 turbinas capaces de generar 1.184 MW de potencia y la planta Rovina-Piastra con una única turbina de 133MW. En total el sistema eléctrico construido sobre el Lago della Piastra es capaz de suministrar una potencia de 1.317 MW.

Se utiliza para estabilizar la red y para aprovechar las energías renovables no programables como la solar y la eólica, y es capaz de suministrar energía a más de 180.000 hogares al año.

En la imagen de la *figura 5.10* podemos ver el embalse en el que desembocan las aguas de los 2 depósitos superiores que posee esta central hidroeléctrica.

### CORTES-LA MUELA

Se trata de un embalse construido en el río Júcar en el municipio de Cortes de Pallás en la provincia de Valencia, España. Dispone de 3 centrales hidroeléctricas construidas sobre el mismo embalse. Estas 3 centrales son las de Cortes II, La Muela I y La Muela II.



Figura 5.11: Complejo hidroeléctrico de Cortes-La Muela.

El caso que más nos interesa a nosotros es el de la Muela II. Se trata de una central hidroeléctrica de bombeo en el que se va a almacenar agua en un depósito superior al embalse, llamado La Muela, cuando la demanda energética de la red sea baja. Cuando la demanda suba, esta agua caerá pasando a través de unas turbinas que generarán energía que será suministrada a la red.

La Muela II tiene una potencia de bombeo de 740 MW y de generación de 850 MW. En total tendremos una potencia de generación de 1.720 MW. Esta potencia la convierte en la mayor central de bombeo de Europa.

En la *figura 5.11* vemos el embalse de Cortes-La Muela y en la parte superior de la imagen vemos el depósito artificial de agua de la central hidroeléctrica de



bombeo de la Muela II, con un desnivel entre ambas masas de agua de 500 metros.

#### 5.4. Almacenamiento en cavidades de aire comprimido (C.A.E.S.)

Método para almacenar energía en el que se aprovechan las horas de baja demanda para almacenar energía impulsando aire exterior, comprimiéndolo en tanques o cavidades subterráneas. Cuando nos encontramos en horas de alta demanda, este aire puede ser liberado como una fuente de energía.

Se han utilizado estos tipos de almacenamiento en sistemas de pequeña y mediana escala.

En el momento de compresión del aire, se va a generar calor, por lo que la compresión de aire se va a realizar de forma escalonada para ir enfriando. Este calor lo que haremos con él es almacenarlo para utilizarlo después en el momento de expansión del aire, ya que, si no suministramos la energía calorífica que se genera, serán pérdidas energéticas. Además, si este calor generado se libera en el momento de la compresión, puede suponer que el calor afecte a otros componentes de la instalación.

Uno de los principales problemas de estos sistemas de almacenamiento, es que requiere una geología específica. Hay tres tipos de geología adecuadas que son: Minas de sal, Roca dura y roca porosa. En el caso de las sales se aprovecharían minas de sal abandonadas ya que las cavidades se encontrarían ya realizadas, en segundo lugar, la roca dura genera el problema de que es muy caro realizar modificaciones en el terreno y, por último, la roca porosa que se pueden aprovechar por ejemplo acuíferos confinados.

Van a existir dos tipos de almacenamiento del aire que van a ser, almacenamiento de volumen constante y almacenamiento de presión constante.

- El almacenamiento a volumen constante requiere de grandes cámaras de aire normalmente subterráneas. Este sistema afecta a las turbinas y compresores ya que existen grandes variaciones de presión. Podemos ver el esquema de los componentes en la *figura 5.12*.



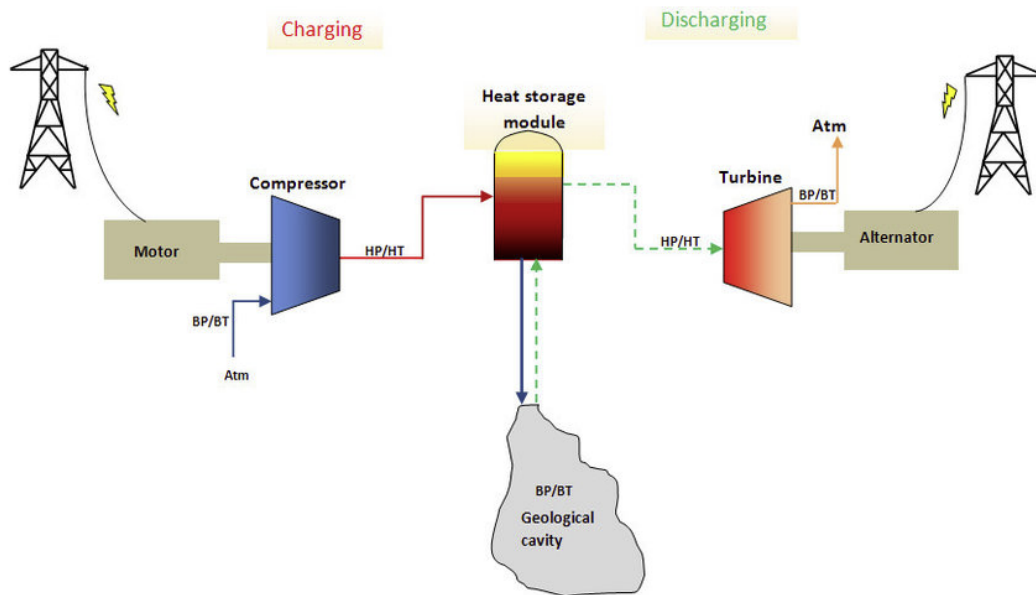


Figura 5.12: Esquema de almacenamiento CAES adiabático a volumen constante.

- Almacenamiento a presión constante. Se basa en mantener la presión del aire constante dentro del recipiente que lo contiene. Para ello el volumen del contenedor tiene que ser variable, por tanto, se utilizan almacenamientos a cientos de metros bajo el agua para mantener constante la presión. En la *figura 5.13* vemos un sistema de almacenamiento a presión constante con los depósitos de tamaño variable.

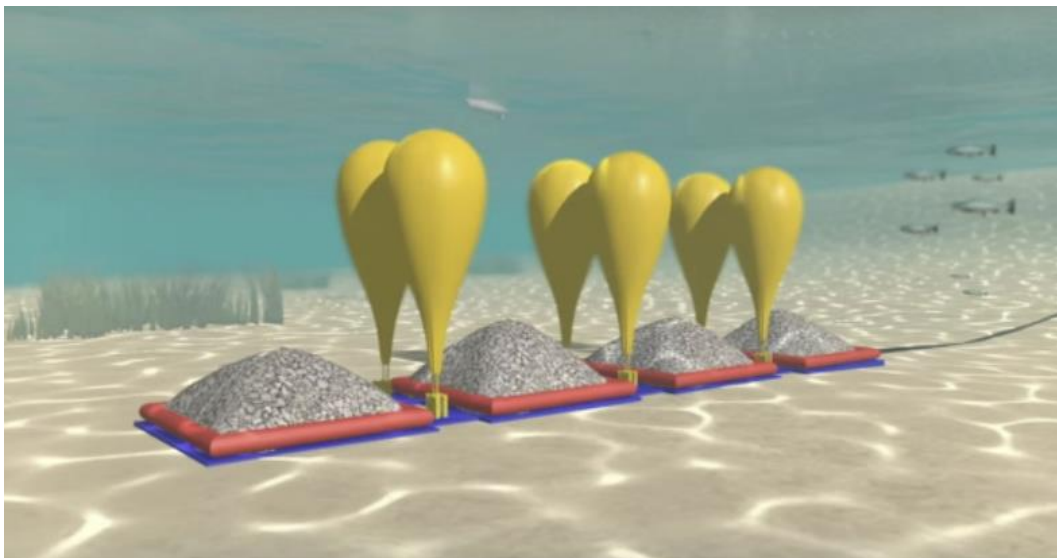


Figura 5.13: Globos submarinos para almacenamiento de aire comprimido.

#### 5.5. Almacenamiento de energía térmica

Logra almacenar energía en forma de calor para hacer uso de esta cuando sea necesario.

Se van a clasificar dentro de dos tipos los cuales son; almacenamiento de calor sensible y almacenamiento por calor latente.

En el caso del almacenamiento por calor sensible se aprovecha la capacidad calorífica de algunas sustancias para que absorban o liberen calor. Es el método más utilizado en la actualidad y el más habitual y maduro hasta el momento. Las sustancias más utilizadas son el agua y las sales fundidas que tienen gran capacidad de almacenar o transmitir energía calorífica. En ocasiones se aprovechan pozas o cavidades subterráneas para almacenar las sustancias a temperaturas elevadas. Pese a ser el más utilizado y barato, presenta una desventaja grande, debido a que no se produce cambio de fase de las sustancias que emplea, lo que implica, que se tengan unas pérdidas elevadas.

Por otro lado, tenemos el almacenamiento por calor latente, que va a emplear sustancias o materiales de cambio de fase. El cambio de fase más común para esta tecnología es el de sólido-líquido, que proporciona una elevada densidad de energía y una reducción de las pérdidas generadas.

Este tipo de instalaciones de almacenamiento de energía térmica se utilizan principalmente en instalaciones termo solares como podemos observar en la *figura 5.14*.

En España, existen actualmente en funcionamiento 18 centrales termosolares con almacenamiento, de las cuales 17 son capaces de suministrar casi 8 horas a potencia nominal, mientras que, una es capaz de aguantar hasta 15 horas.



*Figura 5.14: Central termosolar con almacenamiento de energía térmica.*

### 5.6. Baterías de flujo

#### 5.6.1. Baterías de solución salina (Sodio)

Se trata de baterías de flujo que basan su funcionamiento en baterías de flujo redox con depósitos de energía electroquímica. Lo que hace especial a este tipo de baterías es que no utilizan metales para los electrodos. La energía se almacena en un sistema escalable de tanques con solución salina y celdas electroquímicas.

Una de las principales características de este tipo de tecnología de almacenaje es que es muy fácilmente escalable. La capacidad de la batería de flujo viene dada por la cantidad de electrolito almacenado.

Además, las baterías libres de metales tienen la ventaja de que no son inflamables ni explosivos y que van a requerir un mantenimiento bajo.

Las capacidades de almacenamiento entre las que se mueven son entre los 400KWh a los 10Mwh con una potencia de 100 KW a 2 MW y su vida útil medida en ciclos de carga descarga es superior a los 10.000 ciclos.

Este tipo de tecnología promete tener un gran futuro en las instalaciones de energía eólica y sistemas fotovoltaicos.

El principal fabricante de este tipo de baterías es Jena Batteries, como podemos ver en la *figura 5.15*. Suelen ir las baterías en el interior de contenedores como el que vemos en la imagen.



Figura 5.15: Contenedor de baterías de solución salina de Jena Batteries.

#### 5.6.2. Baterías de Hierro

Son baterías compuestas por materiales que se encuentran en el mercado como son el hierro la sal y el agua. Debido a que utilizan materiales bastante

comunes serán fácilmente reciclables lo cual reducirá el impacto de esta tecnología de baterías de flujo.

Su funcionamiento no está basado en combustión química, por lo que resultan más seguras que otras baterías de flujo. Además, se dice que son capaces de alcanzar hasta los 20.000 ciclos de carga/descarga lo que supone alrededor de 20 años de vida sin llegar a degradarse.

En la *figura 5.16* podemos ver un conjunto de baterías de flujo de hierro. Se tratan de baterías fabricadas por uno de los fabricantes más importantes de baterías de flujo que es ESS Inc. Se pueden visualizar en la imagen los depósitos de las baterías y que el lado de la imagen corresponde con el del electrodo negativo.



Figura 5.16: Batería de flujo de Hierro fabricada por ESS Inc.

### 5.6.3. Baterías de Vanadio

Se trata de baterías de flujo que emplean oxidación redox para almacenar energía. Utilizan vanadio disuelto en ácido sulfúrico para el electrolito y utilizan vanadio en distintas formas para los dos electrodos entre los que opera el electrolito. Para el caso del electrodo positivo se encuentra el par  $\text{VO}_2^+/\text{VO}_2^+$ , y para el caso del electrodo negativo se usa el par  $\text{V}^{2+}/\text{V}^{3+}$ .

Estas baterías ofrecen una gran rapidez de respuesta frente a ciclos de carga descarga, pudiendo proporcionar grandes potencias en cuestión de milisegundos, por ello pueden utilizarse para estabilizar la red.

El manejo y los riesgos de estas tecnologías son reducidos, ya que trabajan a la temperatura ambiente. Una de las mayores desventajas de estas baterías es la densidad de energía relativamente baja, y la complejidad de las baterías frente a las convencionales. La baja densidad de energía implica la necesidad de acoplar más celdas, siendo el voltaje aportado por cada una de 1.2 voltios, esto implica un mayor volumen de baterías.

El gran tamaño de las baterías dificulta la posibilidad de uso de esta tecnología en sistemas de transporte, pero la hace muy adecuada para sistemas estacionarios en especial los que generen energía de manera discontinua para así estabilizar la red.

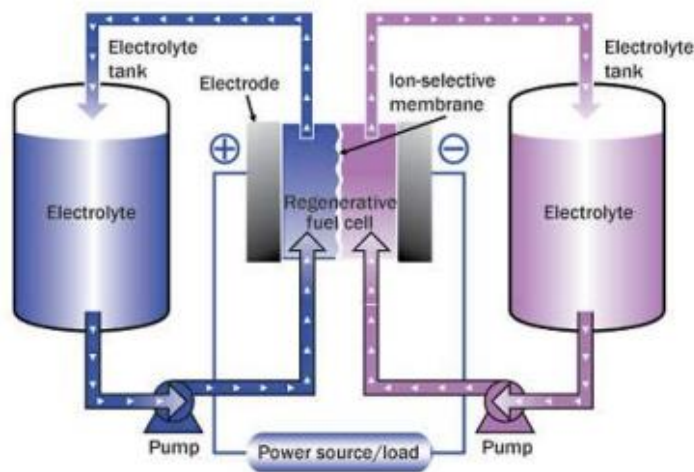


Figura 5.17: Esquema del funcionamiento de batería de flujo de Vanadio.

En la *figura 5.17*, podemos ver un esquema de la estructura de las baterías de vanadio y en general, es un sistema genérico para las baterías de flujo en las que tendremos, dos tanques provistos de electrolito separados en el interior por unas membranas capaces de ser atravesadas por electrones, lo que va a implicar la carga o descarga de las baterías.

Un ejemplo de batería de Vanadio es la que vemos en la *figura 5.18*. Se trata de una batería para uso residencial fabricada por la empresa alemana VoltStorage. Tiene una potencia de 1.5KW y una capacidad nominal de 6.2KWh. Podemos ver que se ha instalado junto a un sistema de generación fotovoltaica, y podemos observar, que se trata de varias baterías situadas en cada una de las líneas de paneles solares.



Figura 5.18: Batería de flujo de Vanadio de VoltStorage.

### 5.7. Almacenamiento de energía en volantes de inercia

En el caso de las microrredes este tipo de almacenamiento se va a utilizar como “amortiguador” de los cambios de generación, es decir, como estamos tratando con energías renovables que generan de manera discontinua, la instalación de volantes de inercia va a conseguir almacenar energía para reducir la discontinuidad de la generación.

Los volantes de inercia no son adecuados para almacenar energía a largo plazo, de echo tienen un porcentaje de autodescarga bastante elevado pudiendo suponer unas descargas de 20% por hora. Por ello y por su gran velocidad de respuesta, se utilizan como almacenes de energía eléctrica a corto plazo.

Su utilización más beneficiosa es junto con un conjunto de baterías de gran capacidad.

Un ejemplo de instalación de volantes de inercia es la planta situada en Stephentown, Nueva York (*figura 5.19*). Tiene instalados 200 volantes de inercia en paralelo siendo capaces cada uno de ellos de proporcionar 100Kw de potencia, por lo tanto, la potencia instalada es de 20MW.



Figura 5.19: Vista de FES en Stephentown, Nueva York.



## 6. Criterios para la selección de tecnología de almacenamiento

Es muy importante seleccionar el correcto sistema de almacenamiento en relación con el tipo de microrred que vayamos a instalar.

A partir de todas las características que hemos ido mencionando de cada una de las tecnologías de acumulación de energía, hemos creado unas tablas que se pueden consultar en los *apartados* 6.2 y 6.3 donde se comparan las diferentes tecnologías.

Antes de pasar a seleccionar los sistemas de almacenamiento, debemos tener en cuenta que hay unos datos previos que debemos obtener para dimensionar y caracterizar nuestra microrred para poder comenzar con el análisis y la selección de la tecnología.

### 6.1. Dimensionamiento de la microrred

La microrred de la que vamos a partir es una red en la que se combina la generación de energía mediante células fotovoltaicas y mediante aerogeneradores. Este sistema de generación va a estar acompañado por un sistema de almacenamiento que seleccionaremos a partir de las características de la microrred, y de otras características y preferencias, que podemos ver en el apartado 6.2 y apartado 6.3.

Para caracterizar el sistema de generación, lo haremos mediante un método simplificado, en el que estudiaremos la generación y demanda de energía durante un día completo analizando cada una de las horas. Después, lo que haremos, será buscar un sistema de almacenamiento que nos permita almacenar suficiente energía para cubrir la demanda en los momentos en los que la generación de energía no es suficiente.

Los pasos que seguir en el dimensionamiento de la microrred son en primer lugar, calcular la generación solar y eólica. En segundo lugar, debemos tener claros los datos de la cantidad de energía demandada en cada una de las horas. Después con los resultados obtenidos y con las características de la microrred y referencias de almacenamiento, seleccionaremos el sistema de almacenamiento que más se adecúe a nuestro caso, y, por último, seleccionaremos una tecnología de baterías adecuada que nos dé el servicio que requerimos.

#### 6.1.1. Cálculo de generación solar

Debemos tener un panel fotovoltaico que instalaremos en nuestra microrred que será el encargado de generar la energía procedente del sol. Los datos que nos interesan relacionados con el panel, los podemos ver en la *tabla 1*, y son; potencia nominal medida en Watios; las condiciones de funcionamiento en las que están dados los datos, que pueden ser STC y NOCT; la irradiancia que





depende de las condiciones de funcionamiento y; por último, el número de paneles solares que instalamos en nuestra microrred aislada.

Características panel solar	
Potencia nominal (KW)	P
Condiciones de funcionamiento	STC/NOCT
Irradiancia(W/m <sup>2</sup> )	G
N.º de Paneles solares	N

Tabla. 1: Características panel solar.

- Potencia nominal (W). Se trata de la potencia que nos va a suministrar el panel solar en las condiciones de funcionamiento que nos indique el fabricante.
- Condiciones de funcionamiento. Puede tratarse de condiciones STC (Standard Test Condition) o las siglas en castellano CEM (Condiciones estándar de medida), o NOCT (Normal Operating Cell Temperature) o sus siglas en castellano TONC (temperatura de operación nominal de célula). En la *tabla 2* podemos ver las condiciones STC y en la *tabla 3* las condiciones NOCT.

STANDAR TEST CONDITIONS	
Irradiancia	1000 w/m <sup>2</sup>
Temperatura	25 °C
Masa de Aire	1,5

Tabla. 2: Condiciones STC.

NOMINAL OPERATING CELL TEMPERATURE	
Irradiancia	800 w/m <sup>2</sup>
Temperatura	20 °C
Masa de Aire	1,5
Velocidad del viento	1 m/s

Tabla. 3: Condiciones NOCT.

- Irradiancia. Depende de las condiciones de funcionamiento que nos dé el fabricante del panel solar. Este valor, en caso de ser las condiciones STC valdrá 1.000 W/m<sup>2</sup> y en el caso de ser las condiciones NOCT el valor que toma será de 800 W/m<sup>2</sup>.
- Número de Paneles Solares. Se trata del número de paneles que van a estar produciendo energía en nuestra microrred.

Una vez conocemos las características del panel solar ya podemos comenzar a calcular la energía generada en un día mediante energía solar. Para ello necesitaremos conocer la irradiancia que tendremos en cada hora (Irr) en un lugar



determinado. Por ejemplo, en la *tabla 4* vemos la irradiancia que había el 11 de mayo de 2022 en Valladolid. La tabla únicamente recoge valores entre las 8:00 y las 21:00 ya que el resto de las horas del día la irradiancia tiene un valor de 0 debido a la ausencia de sol.

Horas	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )
8:00	123
9:00	306
10:00	479
11:00	634
12:00	741
13:00	837
14:00	730
15:00	721
16:00	778
17:00	659
18:00	375
19:00	139
20:00	55
21:00	9

Tabla. 4: Irradiancia Valladolid 11 de mayo 2022 por hora.

El cálculo lo debemos realizar para cada una de las horas del día mediante la fórmula siguiente. Obtendremos la cantidad de energía generada por los paneles solares indicados en la hora calculada. Y, si sumamos las energías obtenidas de cada una de las horas del día, obtendremos como resultado la cantidad de energía generada mediante los paneles fotovoltaicos en un día.

$$Prod\ Solar = P * \frac{Irr}{G} * N$$

### 6.1.2. Cálculo de generación eólica

Para el cálculo de la energía eólica producida en un día el procedimiento comienza de la misma manera que la generación solar, debemos seleccionar un aerogenerador y debemos recoger ciertos datos técnicos del mismo.

Lo que nos va a interesar de los aerogeneradores es la tabla de potencia de este. En la *figura 6.1* se muestra un ejemplo de una gráfica de potencia de un aerogenerador. Se trata del aerogenerador E200 de la empresa ENAIR con una potencia nominal de 10KW que soporta vientos de hasta 25 m/s.

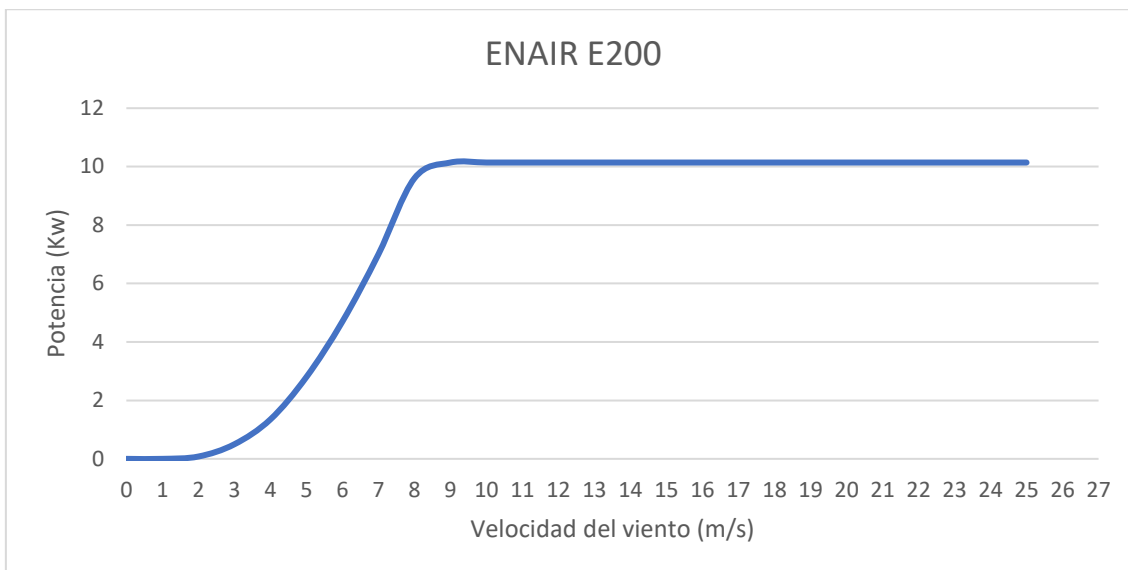


Figura 6.1: Gráfico de potencia de aerogenerador E200 ENAIR.

De nuevo como en el caso anterior, debemos conocer las velocidades del viento de cada una de las horas del día que estemos estudiando. La energía que vamos a generar en cada hora de funcionamiento del aerogenerador va a depender de la velocidad del viento de esa hora. Por lo tanto, si entramos a la gráfica con las velocidades del viento de cada una de las horas del día, y obtenemos las potencias, tendremos la energía generada en cada hora por un aerogenerador. Conociendo la energía generada por un aerogenerador en cada una de las horas, debemos multiplicarlo por el número de aerogeneradores instalados en nuestra microrred y así conoceremos la energía generada en nuestra red aislada mediante energía eólica.

De la misma manera que en el caso de la generación solar, si sumamos la energía eólica generada en cada una de las horas de un día obtendremos la energía total generada en un día mediante energía eólica.

Un ejemplo de la velocidad del viento que hay en una zona concreta en función de la hora del día lo podemos ver en la tabla 5, que se trata del viento existente en Valladolid el día 11 de mayo de 2022.

Horas	Viento (m/s)
8:00	5
9:00	4
10:00	4
11:00	3
12:00	3
13:00	3
14:00	5
15:00	7



16:00	8
17:00	7
18:00	5
19:00	8
20:00	5
21:00	4
22:00	4
23:00	3
0:00	3
1:00	4
2:00	4
3:00	4
4:00	4
5:00	3
6:00	3
7:00	5

Tabla. 5: Velocidad del viento Valladolid 11 de mayo 2022, por hora.

### 6.1.3. Demanda de energía

La demanda de energía trata los datos más importantes y de los que se parte a la hora de dimensionar una microrred. A partir de los datos de demanda de energía se decidirá tanto los paneles y los aerogeneradores a instalar como la cantidad de estos.

Debemos suministrar información acerca de los datos de energía consumida en cada una de las horas del día.

Para realizar una estimación utilizaremos un valor de consumo medio diario por vivienda. El valor lo distribuiremos en las diferentes horas del día dependiendo de la hora que se trate sabiendo que hay horas con mayor flujo de energía consumida.

Vamos a suponer un consumo de 9 KWh diarios y la distribución horaria será la mostrada en la *tabla 6* y graficada en la *figura 6.2*. En rojo más intenso se encuentran marcadas las horas con mayores consumos de energía y por el contrario en blanco estarán los menores porcentajes.

Horas	Distribución de demanda
8h	3%
9h	2%
10h	7%
11h	7%
12h	2%
13h	3%
14h	3%
15h	5%
16h	8%
17h	12%



18h	11%
19h	7%
20h	4%
21h	2%
22h	3%
23h	3%
0h	2%
1h	3%
2h	3%
3h	2%
4h	2%
5h	3%
6h	2%
7h	2%

Tabla. 6: Distribución del consumo de energía aproximado de una vivienda por horas.

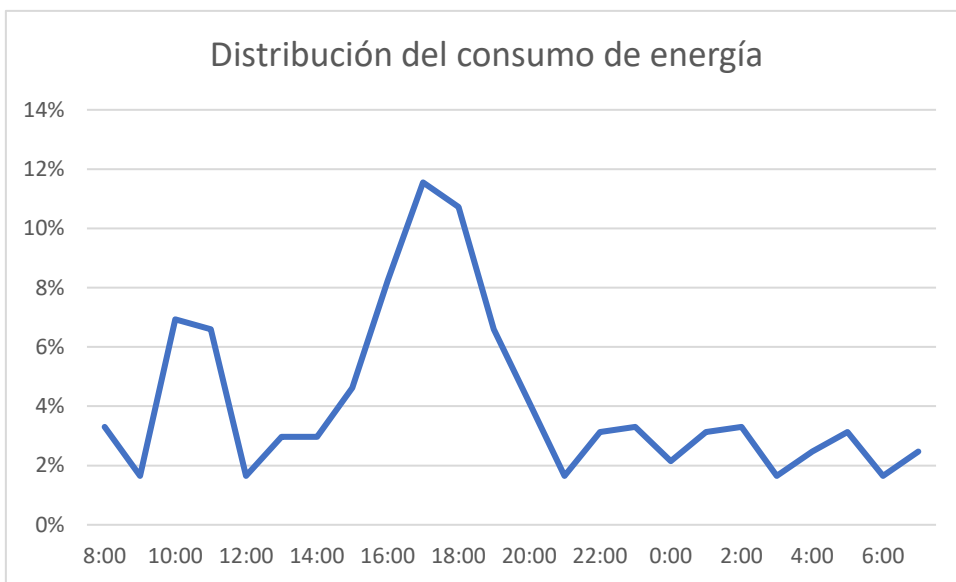


Figura 6.2: Gráfica de distribución del consumo de energía.

## 6.2. Selección del tipo de sistema de almacenamiento

Para seleccionar el tipo de sistema de almacenamiento que podríamos instalar en nuestra red aislada, vamos a analizar varias características de los diferentes sistemas, para así ver cuál nos conviene más.

Nos fijaremos en la *tabla 7* en la que aparecen recogidos los diferentes sistemas y sus características, y lo iremos analizando para entender, qué sistema debemos instalar y, en qué situaciones.

Tecnología	Baterías electroquímicas	Centrales hidroeléctricas de bombeo	Almacenamiento de aire comprimido	Almacenamiento en volantes de inercia	Almacenamiento en baterías de flujo	Almacenamiento de energía térmica	Supercondensadores	Superconductores magnéticos
Abreviatura	-	P.H.S.	C.A.E.S.	F.E.S.	-	T.E.S.	SCES	SMES
Mantenimiento periódico	Medio	Bajo	Muy bajo	No	Alto	Bajo	No	Muy bajo
Vida útil	5-15 años	Mas de 80 años	20-40 años	20años	2-10 años	indefinida	Mas de 10 años	-
Contaminación	Si	No	Si	No	No	No	No	No
Escalabilidad	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Materiales tóxicos	En algunos casos	No	En algunos casos	No	Si	No	No	No
Problema medioambiental	Si	Si	Si	No	Si	Si	No	No
Potencias (MW)	Hasta 1,5	100-4000	50-300	0,001-20	0,0025-10	120 aprox.	-	-
Rendimiento	75%-99%	65%-80%	50-60%	85%-95%	70%	60%	98%	75%

Tabla. 7: Tabla de las características de distintos sistemas de almacenamiento.

A continuación, analizamos cada una de las características recogidas en la *tabla 7* y analizaremos cada uno de os sistemas de almacenaje.

- **Mantenimiento periódico.** Lo vamos a clasificar por Muy bajo, Bajo, Medio y Alto. Se trata de una característica muy genérica en la que indicamos la



cantidad de mantenimiento que requieren. Cabe destacar que existen algunos sistemas en los que, dependiendo de la tecnología seleccionada dentro de los mismos, necesitara mantenimiento o no, pero de forma general se le atribuye un grado de mantenimiento a cada sistema. Además, cabe destacar, que estamos hablando de mantenimiento periódico lo cual no exime al sistema de tener cierto mantenimiento, pero de manera esporádica.

- Vida útil. En este caso se indica o bien un rango o bien una cantidad de años aproximada de duración de los sistemas. Al igual que hemos comentado en el caso anterior, cada sistema tiene unas tecnologías diferentes dentro de él, que pueden hacer variar esta cifra de vida útil. Si nos fijamos, los sistemas que mayor infraestructura necesitan son los que más años van a durar. La mayor parte de los sistemas se mueven entorno a unos 20 años de vida útil y dependiendo de las condiciones de vida que se les ofrezca.
- Contaminación. Todos los sistemas van a contaminar, pero no a emitir gases. Por ejemplo, los sistemas P.H.S. producen contaminación paisajística. Otro ejemplo es el caso de T.E.S. donde se genera contaminación térmica o calorífica. Por lo tanto, en la *tabla 7* se indica con un sí, los sistemas que contaminen emitiendo gases a la atmósfera y con un no, a los que no lo hagan, pero sabiendo que todos los sistemas tienen consecuencias contaminantes.
- Escalabilidad. Se trata de una característica de suma importancia ya que, en un momento dado, puede surgir la necesidad de ampliar la cantidad de energía almacenada debido a una mayor demanda de consumo en horas de generación reducida. La escalabilidad nos indica si es posible realizar una ampliación del sistema de manera sencilla o no. El único caso en el que no es posible escalar de manera simple, es en las baterías electroquímicas, ya que, si queremos aumentar la energía almacenada de un sistema ya instalado, debemos sustituir todas las baterías ya conectadas instalando más y, además, todas deben de ser del mismo tipo lo cual complica bastante la escalabilidad.
- Materiales tóxicos. Indica el uso de materiales tóxicos para el almacenamiento de energía. Estos materiales a la hora de ser reciclados van a contaminar el medio y, además, la no utilización de estos materiales puede suponer un ahorro económico, ya que, se reduce el costo de reciclaje de los materiales.
- Problema medioambiental. Aquí se recoge si generan algún problema medioambiental del tipo que sea, pudiendo ser contaminación acústica, grandes modificaciones en el terreno, generación de calor, posibilidad de vertido de materiales tóxicos...
- Potencias. Esta característica se refiere a la potencia de generación de los sistemas. En la mayoría de los casos se indica con un rango de MW entre los que podría realizarse una instalación del tipo indicado. El sistema que mayor



potencia instalada puede tener es el P.H.S. y, por el contrario, los sistemas con menor potencia instalada serán tanto las baterías electroquímicas como los volantes de inercias, seguidos muy de cerca de las baterías de flujo.

- Rendimiento. Indica el porcentaje de energía que es capaz de almacenar de toda la energía que se le suministra. A mayores rendimientos mejor, ya que se pierde menos cantidad de energía. Los sistemas pequeños como pueden ser las baterías electroquímicas o condensadores mejorarán el rendimiento frente a otros sistemas de gran tamaño en los que las pérdidas van a ser mayores por el difícil control de los productos que almacenan la energía.

Para seleccionar el tipo de sistema de almacenamiento lo que haremos será, a partir de las características de nuestro sistema aislado, ir analizando la tabla y ver con cuál de los distintos sistemas se corresponde cada característica.

Para el caso de estudio ante el que estamos nosotros, que es una red aislada, lo ideal, en la mayoría de los casos, van a ser baterías electroquímicas, ya que, las energías que vamos a manejar van a ser relativamente bajas. Puede suceder que este tipo de almacenamiento vaya acompañado de sistemas de respuesta rápida ante variaciones repentinas como podrían ser los volantes de inercia o los superconductores y condensadores.

Los sistemas de mayor envergadura como el de bombeo hidráulico, el almacenamiento térmico y el almacenamiento de aire comprimido van a ser más utilizados en sistemas conectados a la red o en sistemas en los que la generación de energía sea mucho mayor. Un ejemplo podría ser un sistema de generación a base de energía nuclear en el que se almacene el sobrante de energía o un sistema de generación en una planta solar térmica en la que se utilice el calor sobrante para almacenar un fluido a altas temperaturas.

### 6.3. Selección de la tecnología de baterías electroquímicas

En este apartado, se encuentran las tablas que iremos explicando y comentando a continuación y que nos van a permitir diferenciar entre los distintos tipos de tecnologías de las baterías electroquímicas. Las baterías electroquímicas nos van a servir como almacenamiento en la mayor parte de las microrredes excepto, en aquellas con una enorme producción de energía que utilicen otros sistemas. Es por ello por lo que vamos a intentar decidir cuáles de las tecnologías se adaptan mejor al tipo de instalación que vayamos a realizar.

Comenzamos con la *tabla 8*. Se trata de una tabla donde se nos muestra información relativa a la composición de los electrodos, positivo y negativo, y del electrolito que las compone. También se muestra información relativa al mantenimiento y la seguridad de esta. Vamos a comentar cada una de las diferentes características que se muestran.



Tecnología de baterías	Tipo de batería	Electrolito	Electrodo positivo Ánodo	Electrodo negativo Cátodo	Mantenimiento	Riesgo de explosión/ Incendio	Generación de gases	Toxicidad /Corrosión
<b>Pb-Ácido Monoblock</b>	Pb-Ácido Abiertas Monoblock	Ácido sulfúrico y Agua destilada	Placa de plomo recubierta de óxido de plomo	Plomo y recubierto de plomo esponjoso	Si	Si	Si	Si
<b>Pb-Ácido Monoblock</b>	Pb-Ácido AGM Monoblock	Ácido sulfúrico retenido en fibra de vidrio	Placa de plomo recubierta de óxido de plomo	Plomo y recubierto de plomo esponjoso	No	No	No	No
<b>Pb-Ácido Monoblock</b>	Pb-Ácido gel Monoblock	Ácido sulfúrico combinado con un tipo de sílice	Placa de plomo recubierta de óxido de plomo	Plomo y recubierto de plomo esponjoso	No	No	Si	No
<b>Pb-Ácido estacionarias</b>	Pb-Ácido OPzS	Ácido sulfúrico	Placa tubular	Placa tubular	Si	Si	Si	Si
<b>Pb-Ácido estacionarias</b>	Pb-Ácido OPzV	Ácido sulfúrico combinado con sílice pirogénica	Placa tubular	Placa tubular	No	No	No	No
<b>Pb-Ácido estacionarias 6v</b>	Pb-Ácido OPzS, OPzV, TOPzS	Ácido sulfúrico	Placa tubular	Placa tubular	Si	Si	Si	Si
<b>Pb-Ácido estacionarias 6v</b>	Pb-Ácido OPzS, OPzV, TOPzS	Ácido sulfúrico combinado con sílice pirogénica	Placa tubular	Placa tubular	No	No	Si	No
<b>Li-Ion</b>	LiFePO4	Carbonato de etileno/Carbonato de dimetilo/Perclorato de litio	Grafito o carbono duro con litio metálico intercalado	LiFePO4 con grafito superior y fluoruro de olivinilideno	No	Si	No	No

Tabla. 8: Tabla de composición y riesgos de las tecnologías de baterías electroquímicas.

A continuación, analizamos cada una de las características recogidas en la *tabla 8* y analizaremos cada una de las tecnologías de almacenamiento.

- **Mantenimiento.** Nos da información acerca de si van a requerir un mantenimiento periódico. En caso de que la instalación de las baterías se haga en un lugar de difícil acceso es preferible instalar tecnologías que no requieran de un mantenimiento periódico. Es importante remarcar que hablamos de mantenimiento periódico ya que es posible que tengan mantenimiento no periódico de manera esporádica.



- Riesgo de explosión/Incendio. Cuando las baterías generan hidrógeno hay que extremar las medidas de seguridad ya que este gas es muy inflamable y una chispa cerca de las baterías puede suponer una explosión, o el inicio de un incendio. Esto sucede sobre todo en el caso de las baterías de Plomo-Ácido Abiertas, tanto las monoblock como las estacionarias (OPzS). Por otra parte, tenemos riesgo de explosión y de incendio en las baterías LiFePO<sub>4</sub>, pero no por generación de gases, sino que está relacionado con la alta densidad de energía que puede hacer aumentar mucho la temperatura de las baterías, aumentando el riesgo de incendio o de explosión.
- Generación de gases. La mayoría de las tecnologías generan gases, pero no todas los expulsan al exterior, es decir, hay baterías que almacenan los gases generados en la combustión para reconvertirlos en el proceso de recarga de la batería. Por ejemplo, esto sucede en las baterías de Pb-Ácido gel, el gas se almacena en la batería, pero como medida de seguridad, si se alcanza una presión muy elevada se abrirán unas válvulas de escape de seguridad.
- Toxicidad/Corrosión. Es la última característica de esta tabla y está relacionada con la generación de gases de la batería. Si se realiza la instalación en un lugar cerrado y se generan gases de reacción se podrían acumular en el aire y ser tóxicos. A su vez la corrosión viene del riesgo de derramamiento del ácido sulfúrico que se podrá producir en las baterías que posean ácido sulfúrico en estado líquido.

A continuación, se muestra la *tabla 9* en la que se recogen características relacionadas con la descarga y la profundidad de descarga (D.O.D.).



Tecnología de baterías	Tipo de batería	Posibilidad de descarga profunda	Profundidad de descarga máxima	Profundidad de descarga recomendado
<b>Pb-Ácido Monoblock</b>	Pb-Ácido Abiertas Monoblock	NO	80%	50%
<b>Pb-Ácido Monoblock</b>	Pb-Ácido AGM Monoblock	No	80%	50%
<b>Pb-Ácido Monoblock</b>	Pb-Ácido gel Monoblock	Si	80%	Cualquiera
<b>Pb-Ácido estacionarias</b>	Pb-Ácido OPzS	Si	80%	Cualquiera
<b>Pb-Ácido estacionarias</b>	Pb-Ácido OPzV	Si	80%	Cualquiera
<b>Pb-Ácido estacionarias 6v</b>	Pb-Ácido <b>OPzS</b> , OPzV, <b>TOPzS</b>	Si	80%	Cualquiera
<b>Pb-Ácido estacionarias 6v</b>	Pb-Ácido OPzS, <b>OPzV</b> , TOPzS	SI	80%	Cualquiera
<b>Li-Ion</b>	LiFePO4	Si	100%	Cualquiera

Tabla. 9: Tabla de la profundidad de descarga de tecnologías de baterías electroquímicas.

Analizamos las características de la *tabla 9* y de las diferentes tecnologías de almacenamiento.

- Posibilidad de descarga profunda. Indica la capacidad de las baterías para afrontar una descarga profunda sin sufrir unas consecuencias elevadas para su vida útil. Con descarga profunda no nos referimos al 100% sino que nos referimos a descargas entre el 80% y el 100%. La tecnología que mejor respuesta da ante descargas profundas serán las de Li-Ion que pueden descargarse al 100% sin afectar a la vida útil de la batería.
- Profundidad de descarga máxima. Se trata de la profundidad de descarga máxima recomendada. Hay tecnologías que si se alcanza la profundidad de descarga máxima sufrirán consecuencias notorias en la vida útil, y es por ello por lo que debemos minimizar estas situaciones.



- Profundidad de descarga recomendada. Se trata de la D.O.D. que el fabricante recomienda para la utilización de las baterías. Hay casos en los que se indica en la tabla la posibilidad de descargar a cualquier porcentaje, pero siempre intentando no superar la D.O.D. máxima.

En la *tabla 10* se muestran los datos relacionados con el coste de las baterías de las distintas tecnologías. Estos datos han sido extraídos de la *tabla 12* que a su vez han sido obtenidos de manera experimental mediante la creación de una lista de baterías reales y sus características.

Tecnología de baterías	Tipo de batería	Euros/KWh durante su vida suponiendo la D.O.D. recomendada	Precio por cada ciclo de vida con D.O.D. recomendada aproximada
<b>Pb-Ácido Monoblock</b>	Pb-Ácido Abiertas Monoblock	0,63 €	0,80 €
<b>Pb-Ácido Monoblock</b>	Pb-Ácido AGM Monoblock	0,47 €	0,57 €
<b>Pb-Ácido Monoblock</b>	Pb-Ácido gel Monoblock	0,42 €	0,37 €
<b>Pb-Ácido estacionarias</b>	Pb-Ácido OPzS	0,15 €	0,17 €
<b>Pb-Ácido estacionarias</b>	Pb-Ácido OPzV	0,16 €	0,20 €
<b>Pb-Ácido estacionarias 6v</b>	Pb-Ácido OPzS, OPzV, TOPzS	0,11 €	0,18 €
<b>Pb-Ácido estacionarias 6v</b>	Pb-Ácido OPzS, OPzV, TOPzS	0,11 €	0,18 €
<b>Li-Ion</b>	LiFePO4	0,10 €	0,25 €

Tabla. 10: Tabla de los costes de baterías electroquímicas.

Se explica a continuación el significado de estos dos valores calculados de manera experimental y aproximada, que nos dan una idea de los costes de las distintas tecnologías, y nos permiten realizar una comparativa de las mismas.

- Euros/KWh durante su vida suponiendo la D.O.D. recomendada. Se realiza el cálculo del precio de cada kWh que es capaz de almacenar la batería y suponiendo que su vida útil medida en ciclos será marcada por una D.O.D. concreta, siendo esta la recomendada.

- Precio por cada ciclo de vida con D.O.D. recomendada aproximada. Es un precio orientativo del coste de la tecnología ya que para mayores duraciones de nuestra batería pagaremos un precio más reducido siendo capaces de sacar un mayor partido a la inversión realizada. En el caso de las baterías de Li-Ion, aunque su duración sea mayor también su coste va a ser mayor ya que se trata de una tecnología diferente, por lo tanto, su precio no va a ser el más reducido pese a ser las baterías que soportan mayor cantidad de ciclos.

Por último, en la *tabla 11* se recogen otras características de interés muy útiles a la hora de seleccionar la batería ideal para nuestro sistema de almacenamiento.

Tecnología de baterías	Tipo de batería	Ciclos de vida aproximados	Densidad de energía Wh/Kg	Capacidad de energía mínima (KWh)	Capacidad de energía máxima (KWh)
<b>Pb-Ácido Monoblock</b>	Pb-Ácido Abiertas Monoblock	300	33-42	1,12	3,12
<b>Pb-Ácido Monoblock</b>	Pb-Ácido AGM Monoblock	500	33-42	1,08	3,6
<b>Pb-Ácido Monoblock</b>	Pb-Ácido gel Monoblock	1200	37-50	1,08	2,7
<b>Pb-Ácido estacionarias</b>	Pb-Ácido OPzS	2500-3000	25-42	0,368	8,68
<b>Pb-Ácido estacionarias</b>	Pb-Ácido OPzV	3000	27-36	0,5	7
<b>Pb-Ácido estacionarias 6v</b>	Pb-Ácido OPzS, OPzV, TOPzS	2500-3000	43-63	2,22	4,398
<b>Pb-Ácido estacionarias 6v</b>	Pb-Ácido OPzS, OPzV, TOPzS	3000	43-64	2,22	4,398
<b>Li-Ion</b>	LiFePO4	>6000	100-140	2,23	5,1

Tabla. 11: Otras características de las tecnologías de baterías electroquímicas.

Se explican y analizan las características recogidas en la *tabla 11*, obtenidas de manera teórica y comparadas con los valores experimentales obtenidos en la *tabla 12*.

- Ciclos de vida. Los ciclos de vida indicados se han obtenido para la D.O.D. recomendada. En algunos casos se pone una cifra que se trata de una aproximación y en otros casos se trata de un intervalo de ciclos entre los que suelen estar estas tecnologías. Como vemos, con menos número de ciclos de vida, tenemos las baterías de plomo ácido monobloque. En segundo lugar, tenemos las baterías de plomo ácido estacionarias, tanto las de 2V como las de 6V y, por último, con una mayor duración, tenemos las baterías de Li-Ion.
- Densidad de energía. Consiste en la cantidad de Wh que pueden almacenar por cada Kg que pesa la batería. Las baterías con mayores densidades son



las de iones de litio. Se trata de las baterías que mayor capacidad de energía son capaces de almacenar en un menor espacio ocupado. Por el contrario, tenemos las baterías estacionarias de 2V, son las que menor densidad tienen.

- Capacidad de energía mínima/Capacidad de energía máxima. Se trata de las capacidades mínimas y máximas más comunes de estas baterías, es decir pueden existir baterías con capacidad fuera de estos límites. Hay que tener en cuenta que las baterías monobloque tienen un voltaje de 12V, si alcanzamos 12V con las baterías estacionarias debemos multiplicar por 6 la capacidad de las baterías ya que tendremos 6 baterías para alcanzar el mismo voltaje.

A mayores de las características teóricas mostradas en las tablas, se ha realizado un análisis experimental de distintas tecnologías de baterías. Con ayuda de diferentes catálogos de baterías de los que se han ido obteniendo varias baterías y se ha creado una lista donde se recogen sus características que más nos interesan y las cuales vamos a analizar.

La lista está formada entre 5 y 10 baterías de cada una de las tecnologías a analizar y se ha calculado de manera experimental, mediante las medias, el precio por cada KWh suponiendo la D.O.D. recomendada, el precio al que pagamos cada Ah nominal de la batería, el precio al que estamos pagando cada ciclo de la batería, la densidad media de energía que poseen y a mayores se indican la capacidad mínima y la máxima del conjunto de baterías que hemos seleccionado para el análisis.

Se ha establecido un código de colores en el que el verde será la batería más barata en cada campo o en el caso de la densidad, en verde estará la batería con mayor densidad. En rojo se encontrarán los valores más negativos y entre medias habrá diferentes gamas de color que clasifican el resto de las tecnologías.

Tecnologías	D.O. D	Euros/KWh durante su vida suponiendo la D.O.D. recomendada	Euros/Ah nominal	Euros/Ciclo	Densidad de energía (Wh/Kg)	Capacidad mínima (KWh)	Capacidad máxima (KWh)
BATERÍAS DE Li-Ion	80%	0,10 €	-	0,25 €	95,75	2.230,00	5.100,00
BATERIAS 6V ESTACIONARIAS OPzS, TOPzS y OPzV	50%	0,11 €	0,78 €	0,18 €	56,09	2.220,00	4.398,00
BATERIAS OPzS	50%	0,15 €	0,42 €	0,17 €	36,15	368,00	8.680,00
BATERÍAS OPzV	50%	0,18 €	0,48 €	0,20 €	32,42	500,00	7.000,00
BATERÍAS GEL MONOBLOCK	50%	0,43 €	2,04 €	0,36 €	42,06	1.080,00	2.700,00
BATERÍAS AGM MONOBLOCK	50%	0,44 €	1,70 €	0,50 €	35,09	1.080,00	3.600,00
BATERÍAS PLOMO ÁCIDO ABIERTAS MONOBLOCK	50%	0,63 €	1,34 €	0,80 €	53,83	1.128,00	3.120,00

Tabla. 12: Análisis experimental de algunas características de tecnologías de baterías.

## 7. Aplicación Access de selección de un sistema de almacenamiento

### 7.1. Objetivo de la aplicación

La aplicación de Access que acompaña a este TFG ha sido creada con el objetivo de simplificar el trabajo de búsqueda en las tablas del apartado 6.2 y apartado 6.3 que diferencian cada una de las tecnologías y sistemas de almacenamiento.

Partimos de la base de tener una microrred aislada, en la que obtenemos energía mediante paneles fotovoltaicos y aerogeneradores, para dar servicio a un conjunto de cargas de energía (Consumidores).

Se aportarán ciertos datos que la aplicación solicita. Después de esto y tras validar los datos, la aplicación selecciona las tecnologías de baterías que más coincidencias tengan, teniendo en cuenta, los datos aportados y los valores característicos de cada tecnología. También, se mostrarán en caso de que existan, posibles sistemas de almacenamiento complementarios a las baterías electroquímicas junto con la posibilidad de consultar las características y ampliar la información de estos.

La aplicación cuenta también con un sistema de base de datos de baterías de distintos fabricantes que puede ser ampliado de manera sencilla para así tener un catálogo interactivo en el que podamos buscar una batería adecuada a nuestro sistema.

### 7.2. Funcionamiento

A continuación, vamos a explicar y desarrollar cada una de las páginas o pantallas con las que cuenta la aplicación y el procedimiento a seguir, para utilizar de manera correcta el programa y obtener correctamente los resultados.

#### PANTALLA DE INICIO



Figura 7.1: App Access; pantalla de inicio.



Cuando iniciamos la aplicación nos sale una pantalla, muy intuitiva, mostrada en la *figura 7.1*. En ella podremos acceder a las diferentes pantallas con las que cuenta el sistema, que, como podemos ver, son 4 a las que se accede a treves de los botones mostrados.

A la derecha tenemos un botón sobre la imagen que nos permite acceder a unas pantallas de información de la aplicación. En la parte izquierda de la *figura 7.1* tenemos 3 botones que permiten acceder a las pantallas principales de la aplicación y que sirven para obtener unas tecnologías de baterías, y sistema de almacenaje adecuado, consultar el catálogo de la aplicación y ampliar el catálogo.

### PANTALLAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN

A estas pantallas se podrá acceder pulsando el botón de *¿Cómo funciona la aplicación?*, o pulsando en la imagen que aparece debajo de este (*figura 7.1*).

Se trata de un conjunto de pantallas entre las que podremos navegar mediante el uso de botones en las que se nos van a ir explicando cada una de las distintas pantallas o formularios con los que cuenta el sistema, tal y como estamos haciendo en este apartado.

### PANTALLA DE SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ALMCENAMIENTO

En esta pantalla es en la que se realiza la acción principal del programa, que es seleccionar una tecnología de baterías electroquímicas adecuada a nuestro sistema aislado de generación y consumo. También se mostrarán otros posibles sistemas de almacenamiento y la posibilidad de aumentar información de cada tecnología y sistema.

Contaremos con varios apartados distintos, que podemos visualizar en la *figura 7.2*, en los que se rellena diferente tipo de información. En el apartado de *Sistema de generación* lo que tenemos será un botón que al pulsarlo nos abre otra pestaña como la mostrada en la *figura 7.4*, y que explicamos más adelante. También en el mismo apartado hay varios campos ocultos que se rellenarán automáticamente a partir de los datos solicitados en la pestaña de *Dimensionamiento de la microrred*. De la misma manera sucede con la energía almacenada total y con el primer campo del apartado de *Características del sistema*, *Energía almacenada de cada batería*.

En el apartado de *Características del sistema*, se muestran varios campos a rellenar, la mayor parte numéricos y en los que debemos escribir números aproximados. El sistema tiene incluidas las tablas del *apartado 6.2* y *apartado 6.3*. Para las comprobaciones numéricas, si se da un intervalo en las tablas, simplemente se comprobará si el numero aportado se encuentra dentro de los límites. En caso de que el número de la tabla sea único se le aplicará una tolerancia superior e inferior para crear un intervalo y comprobar si el valor aportado en la aplicación se encuentra dentro o no.



Con un mínimo de conocimiento del funcionamiento de Access podemos acceder a las tablas creadas en el programa, y existe una tabla llamada *Datos*, en la que podemos modificar los valores del porcentaje de tolerancia aplicado a cada una de las características del sistema. Si no se realiza ninguna modificación, la tolerancia para todos los valores será del 20%.

Figura 7.2: App Access; selección de la tecnología de almacenamiento.

Si continuamos con el siguiente apartado encontramos que es el de *Preferencias de selección*. En este caso son características que se responden con un sí o un no. Por defecto cada una de las características viene marcada con un no y debemos marcar las que queremos que sean afirmativas.

Para finalizar, vemos un recuadro en el que se nos va a dar el resultado final (*figura 7.3*) Cuando tengamos añadidos los datos que deseamos, vamos a presionar el botón de *Validar datos*. Una vez realizado esto se van a mostrar 3 tecnologías ordenadas de mayor a menor recomendación, es decir, la de más arriba será la que más características tenga compatibles con los datos añadidos en la pantalla.

Para seleccionar las tecnologías de baterías, el programa se basa en un sistema de puntuaciones en las que por cada característica compatible se sumen puntos. Hay una tabla en el Access que nos permite acceder a los puntos que suma cada una de las características en caso de coincidir. Esto nos va a permitir dar más importancia a unas características frente a otras menos importantes. Si no realizamos ninguna modificación de la tabla de puntuaciones, tendremos que cada una de las *Características del sistema* sumará dos puntos mientras que cada una de las *Preferencias de selección* sumará uno.

Una vez se muestran las tres tecnologías con más puntuación, automáticamente se realiza un análisis de las puntuaciones y se va a colorear el fondo del recuadro de la tecnología de un color, siendo el verde el color correspondiente a la mayor puntuación posible y el rojo a la menor puntuación posible. En la *figura 7.3* vemos el

código de colores, y vemos que al verde le corresponde el valor de muy recomendable y al rojo el de poco recomendable.

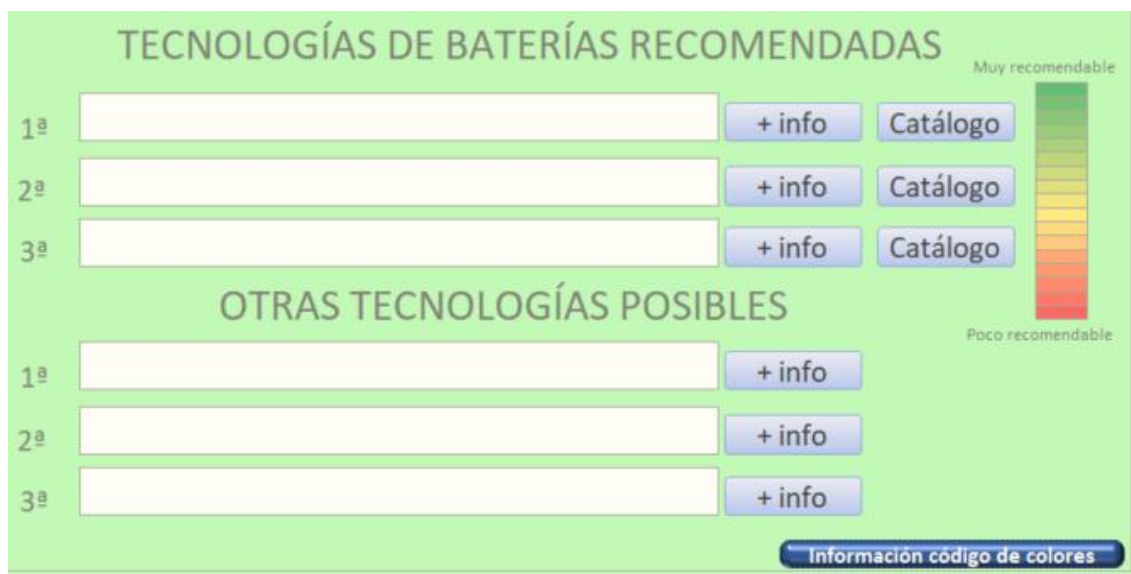


Figura 7.3: App Access; resultado de selección de la tecnología de almacenamiento.

A la derecha de cada uno de los recuadros de tecnologías recomendadas, tenemos dos botones. Uno llamado *+ info* en el que si presionamos se nos abrirá una pantalla donde se nos muestran los valores de las características almacenados por el sistema, y se nos muestra información complementaria acerca de la tecnología del recuadro. El otro botón como su propio nombre indica se trata de un catálogo, en el que, se nos van a mostrar las baterías que tenga el sistema almacenadas en su base de datos, pero únicamente de la tecnología recomendada que se encuentre rellenando el recuadro, es decir aparece el catálogo filtrado por la tecnología.

Para terminar, dentro del mismo recuadro existe la posibilidad de que se rellenen los campos de *Otras tecnologías posibles*. Se va a rellenar automática y únicamente en caso de que exista algún sistema de almacenamiento compatible con los datos rellenos en la aplicación. También tendremos la posibilidad de ampliar la información que tenemos del mismo presionando en los botones que aparecen a la derecha de los recuadros.

## PANTALLA DE DIMENSIONAMIENTO DE LA MICRORRED

A continuación, hablamos de la pantalla que aparece al presionar el botón de dimensionamiento de la microrred y como su propio nombre indica nos va a servir para dimensionar la microrred y decidir el tamaño de las baterías a utilizar y la energía almacenada (*figura 7.4*).

En primer lugar, en la parte superior, se muestran los datos que nos interesan del panel solar utilizado y del aerogenerador. El panel solar se trata de un panel de la empresa Trina Solar, llamado Vertex 600 con una potencia nominal de 600 W bajo condiciones STC. El aerogenerador es un E200, de la empresa ENAIR cuya curva de potencia se muestra en la pantalla.

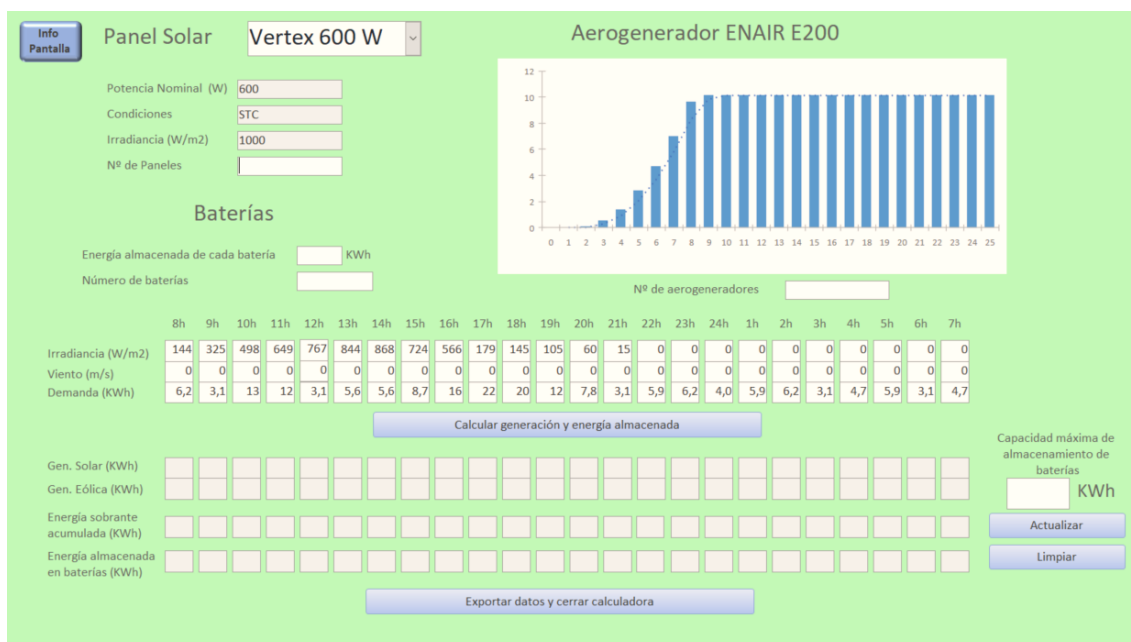


Figura 7.4: App Access; dimensionamiento de la microrred.

Pasamos a la tabla de abajo en la que tenemos 3 filas de datos los cuales debemos rellenar. Se trata de la Irradiancia del día que vayamos a estudiar, la velocidad del viento que haya también del mismo día y la demanda total de energía. Estos datos se deben aportar para cada una de las horas del día comenzando a las 8 de la mañana y finalizando 24 horas después.

Una vez rellenas la tabla mencionada antes, debemos rellenar también el número de paneles solares y el número de aerogeneradores. Con todos los datos cumplimentados, podemos darle al botón de calcular.

Al presionar en el botón de *Calcular generación y energía almacenada* se nos muestra un mensaje emergente, en él, se nos pide el porcentaje inicial de carga de las baterías. Por ejemplo, vamos a estudiar un día concreto en el que las baterías se encuentran a un 50% de su capacidad, el valor que le aportaremos será de 50. Se nos va a calcular la generación de energía tanto solar como eólica y se nos va a calcular también la energía sobrante acumulada. La energía sobrante acumulada se refiere a la cantidad de energía que se genera y no se consume y que se podría almacenar en baterías.

Nos hemos saltado el apartado de baterías ya que, se puede rellenar de primeras o bien, basándonos en los resultados obtenidos en la fila de energía sobrante acumulada, podemos decidir cuántas baterías y de que potencia las queremos de forma aproximada.

Una vez rellenas la potencia de cada batería y el número de baterías, podemos darle de nuevo a calcular o bien podemos presionar el botón de abajo a la derecha llamado *Actualizar*. Se nos va a rellenar la última fila de la tabla, llamada *Energía*



almacenada en baterías. Esta fila se encarga de mostrar la cantidad de energía que hay almacenada cada hora. Se tendrá en cuenta el valor aportado de la capacidad de energía inicial del sistema. Podremos ver de esta manera si hay momentos en los que las baterías bajan o suben la energía almacenada y podemos detectar problemas de falta de suministro energético, lo cual implicará la necesidad de ampliar el número de baterías o la capacidad de almacenamiento.

Esta pantalla está preparada para ir realizando cambios sobre todo en la potencia de cada batería y en el número. Podemos ir jugando con estos campos para así conseguir tener un sistema equilibrado en el que no nos quedemos nunca en negativo en las baterías.

Para esta última fila además hay un código de colores que indican el nivel de capacidad en el que se encuentra el sistema de almacenamiento, siendo verde el mayor nivel, rojo un nivel crítico y negro aparece cuando las baterías se encuentran descargadas al completo.

Sistema de generación

Dimensionamiento de la microrred

Nº Paneles Solares

Nº Aerogeneradores

Energía almacenada total  KWh

Características del sistema

Energía almacenada de cada batería  KWh

Figura 7.5: App Access; datos obtenidos del dimensionamiento de la microrred.

Una vez tenemos el sistema equilibrado con las baterías y sistemas de generación, presionaremos el botón de exportar datos y cerrar calculadora. Automáticamente volveremos a la página anterior (figura 7.2) y habrán aparecido los campos ocultos rellenos y se habrán relleno a mayores la energía almacenada total y la energía

de cada batería. Los campos rellenados automáticamente los podemos ver en la *figura 7.5*.

Con esto finalizaría la parte relacionada con la selección de la tecnología de almacenamiento y pasaremos a explicar las pantallas correspondientes al resto de botones del inicio.

### PANTALLA DEL CATÁLOGO

A esta pantalla se accede presionando sobre el botón de la *figura 7.1* llamado *Catálogo de baterías* o se podrá acceder mediante los botones que se muestran en la *figura 7.3* y se llaman Catálogo. La pantalla que se nos mostrará será lo que podemos ver en la *figura 7.6* y que explicaremos su funcionamiento a continuación.

Filtros a aplicar	
Tecnología de las baterías:	<input type="text"/>
Ciclos de vida aproximados:	<input type="text"/>
Energía almacenada (KWh)	<input type="text"/>
Empresa de fabricación	<input type="text"/>
Voltaje Nominal (v)	<input type="text"/>
Precio (€)	<input type="text"/>

Volver al inicio    Filtrar    <--    -->    Limpiar    Nº Resultados 149


#### DATOS GENERALES

Identificación de la batería	<input type="text" value="Batería 12V 260Ah Formula Star"/>
Empresa de fabricación	<input type="text" value="Formula Star"/>
Tipo de batería	<input type="text" value="Pb-Acido Abiertas Monoblock"/>
Voltaje Nominal (v)	<input type="text" value="12"/>
Capacidad nominal C100 (Ah)	<input type="text" value="260"/>
Numero de celdas	<input type="text" value="6"/>

#### DATOS ESPECÍFICOS

Máxima corriente de descarga	<input type="text"/>	A
Resistencia interna	<input type="text"/>	Ohmios
Ciclos de vida aproximados	<input type="text" value="300"/>	Ciclos
Capacidad de energía	<input type="text" value="3,12"/>	Kwh
D.O.D. recomendada	<input type="text" value="0,5"/>	%
Densidad de energía	<input type="text" value="62,4"/>	Kwh/Kg
Peso	<input type="text" value="50"/>	Kg
Medidas (LxAxH)	<input type="text"/>	mm
Precio	<input type="text" value="310,98"/>	€
Precio Kwh con D.O.D. recomendada	<input type="text" value="0,6645"/>	€/Kwh
Precio ciclo de vida con D.O.D. recomendada	<input type="text" value="1,0366"/>	€/Ciclo

Nombre de la imagen



Observaciones

Figura 7.6: App Access; catálogo de baterías.

Como el propio nombre de los botones de acceso indica, tendremos un catálogo en el que podemos ver todas y cada una de las baterías almacenadas en la base de datos interna del programa. En la parte superior de la pantalla tenemos varios filtros que podemos aplicar para realizar una búsqueda más específica. Como podemos ver tenemos un indicador del número de baterías que cumplen con los requisitos especificados en los filtros y en caso de no haber requisitos se indica el número total de baterías del catálogo. Además, tenemos unas flechas en el centro de la pantalla que nos permiten navegar por todas las baterías del sistema de almacenamiento.

Esta base de datos es fácilmente ampliable ya que se cuenta con un formulario que permite realizar esta acción de forma cómoda.

### PANTALLA DE AÑADIR NUEVA BATERÍA AL CATÁLOGO

De nuevo volvemos a la *figura 7.1* y presionaremos el botón de *Añadir nueva batería al catálogo* para que se nos abra la pantalla mostrada en la *figura 7.7* que es la que nos va a permitir ampliar la base de datos que registra todas las baterías añadidas al sistema. Tenemos la posibilidad de añadir cualquier tipo de datos siendo únicamente obligatorios los marcados con un asterisco y que nos permitirán identificar a las baterías. Cuanta más información consigamos obtener de una batería, mejor, ya que nos facilitará el trabajo en un futuro a la hora de seleccionar esa batería.

**Añadir nueva batería a la base de datos**

**DATOS GENERALES**

Identificación de la batería \*

Empresa de fabricación \*

Tipo de batería \*

Voltaje Nominal (v)\*

Capacidad nominal C100 (Ah)

Numero de celdas

**DATOS ESPECÍFICOS**

Máxima corriente de descarga  A

Resistencia interna  Ohmios

Ciclos de vida aproximados  Ciclos

Capacidad de energía  Kwh

D.O.D. recomendada  %

Densidad de energía  Kwh/Kg

Peso  Kwh/Kg

Medidas (LxAxH)  Kwh/Kg

Precio  €

Precio Kwh con D.O.D. recomendada  €/Kwh

Precio ciclo de vida con D.O.D. recomendada  €/Ciclo

Nombre de la imagen

No insertar imagen, solamente añadir nombre del archivo y almacenar imagen en carpeta de imágenes

Observaciones

Volver al inicio

Guardar batería en BBDD

Limpiar

Figura 7.7: App Access; añadir nueva batería al catálogo.

Una vez rellenados todos los datos de la batería pulsaremos el botón de guardar batería en BBDD, automáticamente esta batería se almacena y pasa a formar parte del catálogo de la aplicación, y la podremos visualizar en la pantalla correspondiente.

### 7.3. Arquitectura interna de App Access

El programa Access se trata de un gestor de datos que basa su funcionamiento en bases de datos y permite crear formularios para la utilización y relación de esas bases.

La aplicación está basada en varias tablas o bases de datos, y formularios que se corresponden con las pantallas que hemos ido desarrollando y explicando, y también está formado por un lenguaje de programación que nos ha servido para conectar las bases de datos con los formularios.

El lenguaje de programación en el que está basado es el Visual Basic para Aplicaciones (VBA).



A continuación, vamos a mostrar la estructura interna de nuestra aplicación explicando un poco el funcionamiento y contenido de esta.

Comenzaremos en primer lugar por los formularios. La aplicación está formada por un total de 12 formularios que se corresponden con cada una de las páginas que hemos visto y explicado en apartados anteriores. Los podemos ver en la *figura 7.8* y explicaremos un poco el contenido de cada uno de ellos a continuación.

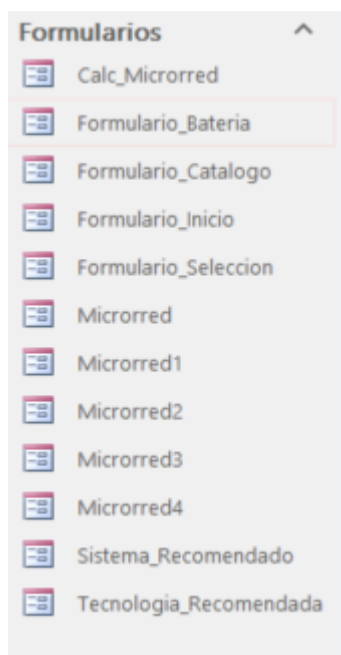


Figura 7.8: App Access; Formularios.

- Calc\_Microrred. Se trata del formulario de Dimensionamiento de la microrred (*figura 7.4*). En él se busca el número y tamaño de las baterías así como la energía total almacenada en las baterías.
- Formulario\_Bateria. Este formulario es en el que podemos añadir nuevas baterías a la base de datos del sistema. Se corresponde con la pantalla mostrada en la *figura 7.7*.
- Formulario\_Catalogo. Corresponde con la *figura 7.6* y se trata de la pantalla del catálogo en el que podemos visualizar las baterías añadidas a la base de datos del sistema.
- Formulario\_Inicio. Este es el formulario que se abre al iniciar la aplicación en el que tendremos distintos botones para acceder a las diferentes pantallas del programa. Corresponde con la pantalla mostrada en la *figura 7.1*.
- Formulario\_Seleccion. Es el formulario en el que se cumple a función principal de la aplicación en la que vamos a seleccionar el sistema de almacenamiento. Lo podemos ver en la *figura 7.2*.

- Microrred, Microrred1, Microrred2, Microrred3, Microrred4. Este conjunto de formularios corresponde a los formularios que conforman la parte de ¿Cómo funciona la aplicación?, es decir, en ellos se recoge toda la información del funcionamiento de la aplicación. Podremos navegar entre ellos gracias a unos botones situados en los mismos.
- Tecnología\_Recomendada. A esta pantalla se accede al presionar lo botones que permiten ampliar la información de las distintas tecnologías recomendadas. Se rellenarán con una información u otra dependiendo de la tecnología que queramos desarrollar.
- Sistemas\_Recomendado. Este formulario se abrirá cuando pulsemos a uno de los botones de + info correspondientes a las otras tecnologías recomendadas. En esta pantalla se muestra información relativa al sistema que se encuentre en el recuadro.

Por otro lado, tendremos las diferentes tablas o bases de datos en donde se almacena información. Las podemos ver en la *figura 7.9* y explicaremos su contenido a continuación de la imagen.

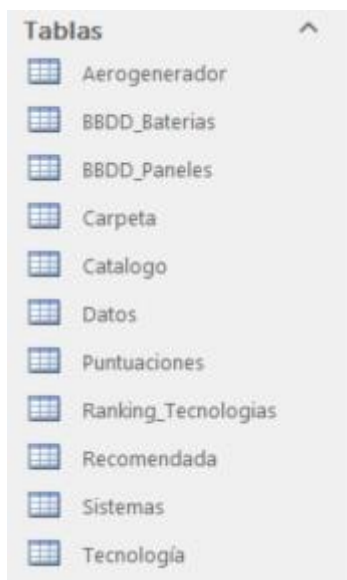


Figura 7.9: App Access; Tablas.

- Aerogenerador. Se trata de una tabla en la que se recogen los distintos datos de interés del aerogenerador. En este caso los datos de interés serán los necesarios para construir la gráfica de potencia que podemos ver en la *figura 6.1*.
- BBDD\_Baterias. En este caso se trata más de una base de datos que de una tabla. Cuando añadamos una nueva batería a la base de datos se añadirá a la lista de las baterías que se encuentra en esta tabla junto con sus datos.





- **BBDD\_Paneles.** En esta tabla se almacenan los datos necesarios del panel solar a utilizar por la aplicación. Se indica la potencia nominal, las condiciones bajo las que ha sido dada la potencia y la irradiancia, junto con el nombre.
- **Carpeta.** Se trata de una tabla que busca la ubicación de la carpeta que contiene las imágenes de las baterías del catálogo. Las imágenes se encuentran en una carpeta que debe estar situada siempre en la misma carpeta que la aplicación, de esta manera al abrir el catálogo, la aplicación consultará la imagen en la carpeta registrada.
- **Catálogo.** Se trata de una tabla interactiva similar a la base de datos de baterías. Al entrar al formulario del catálogo aparecerán todas las baterías de la base de datos en esta tabla. Si aplico algún filtro, se eliminarán todas las baterías que no cumplan con ese filtro dejando únicamente las que sí, por lo tanto, en esta tabla se almacenan las baterías que son mostradas en el formulario de catálogo.
- **Datos.** En esta tabla se almacenan los datos de interés que se van a consultar para la hora de realizar algún cálculo y necesitemos un valor o factor para multiplicar. Por ejemplo, en esta tabla podemos encontrar los valores del porcentaje de tolerancia que se acepta para filtrar por una energía de almacenamiento en la pantalla de selección de tecnología de almacenamiento.
- **Puntuaciones.** En esta tabla se recogen los puntos que se va a dar a cada tecnología tras analizar sus características con las características y preferencias solicitadas para nuestro caso concreto de microrred.
- **Ranking\_tecnologías.** Como hemos comentado anteriormente, las tecnologías de baterías electroquímicas van a recibir puntuación por cada una de las características coincidentes con las que aportan en la pantalla de selección. Por ello, en esta tabla se almacenan las puntuaciones de cada una de las tecnologías tras analizar todas las características y preferencias de selección. En la pantalla de selección se mostrarán las 3 tecnologías con mayores puntuaciones ordenadas.
- **Recomendada.** Es una tabla auxiliar en la que, cuando pulso uno de los botones de + info en la pantalla de selección (*figura 7.3*) se registra en esta tabla el nombre de la tecnología que se quiere mostrar. Cuando se abre el formulario de Tecnología\_Recomendada, consultará a esta tabla el nombre y mostrará los datos de esta tecnología.
- **Tecnología.** En este caso tenemos la tabla en la que se consultan los datos y características de cada una de las tecnologías. Esta tabla funciona relacionada con la de Recomendada ya que será en esta de la que se extraerán los datos de la tecnología registrada en la tabla anterior.



- **Sistemas.** Se trata de una tabla con información acerca de los sistemas de almacenamiento complementarios a las baterías electroquímicas. Se accederá a esta tabla para obtener la información del sistema que queramos estudiar más a fondo, y se accede al pulsar a los botones de + info de las otras tecnologías recomendadas de la pantalla de selección de tecnología de almacenamiento.

El lenguaje VBA, como hemos comentado anteriormente es el encargado de relacionar todas las tablas y formularios anteriores. Los relaciona mediante; consultas, registros, cálculos, oculta campos, pone campos en visible, borra registros, abre y cierra formularios...

#### 7.4. Conclusión

La aplicación tiene la ventaja de permitir realizar cambios y actualizar los resultados de manera instantánea sin necesidad de ir y venir de diferentes fuentes para comprobar las distintas características. Además, la aplicación es capaz de ofrecernos más de una solución, lo cual, nos puede ser útil a la hora de barajar varias opciones. También nos ofrece la posibilidad de una breve explicación de cada una de las tecnologías y nos enseña todas las características cualitativas y cuantitativas.

También la aplicación nos realiza, de forma instantánea, todos los cálculos necesarios para dimensionar la microrred y poder seleccionar un tamaño y número de baterías adecuado. Si lo hiciéramos sin utilizar la aplicación correríamos el riesgo de cometer errores que nos condicionen en el dimensionamiento.

Por otra parte, la base de datos ampliable de baterías con la que cuenta la aplicación nos puede ahorrar consultas a catálogos de diferentes empresas fabricantes y nos permite tener a la vista baterías de distintas empresas, fabricantes, características y tecnologías.



## 8. Casos prácticos de selección de almacenamiento

### 8.1. Caso práctico 1

En este primer caso práctico vamos a dimensionar una urbanización formada por 120 viviendas unifamiliares situadas en la provincia de Valladolid, en el municipio de Boecillo. Vamos a realizar el análisis para el día 25 de mayo de 2022.

Se trata de una urbanización con disponibilidad de suelo para generación de energía solar, y altura y viento suficientes para generación eólica. Por ello se ha decidido crear una microrred aislada para esta urbanización en la que intervengan paneles solares de la empresa Trina Solar, más concretamente el panel solar Vertex 600; aerogeneradores E200 de la empresa ENAIR; y por último un sistema de almacenamiento que debemos dimensionar para seleccionarlo.

Las características del almacenamiento van a ser principalmente que el sistema puede tener un mantenimiento moderado ya que se va a situar en un lugar de fácil acceso. No necesitamos una profundidad de descarga muy elevada, pero lo que si necesitaremos es que la generación de gases sea lo más reducida posible ya que la instalación se va a realizar en un lugar cerrado.

El espacio ocupado por las baterías no es un gran problema, pero preferentemente las baterías han de ser grandes en altura y no en suelo ocupado para así poder instalar más baterías con una densidad mediana.

Además, se espera una vida útil media de unos 3000 ciclos.

#### 8.1.1. Dimensionamiento de la microrred

En nuestro caso lo que hemos hecho es seleccionar un panel solar de la marca Trina Solar. El Panel Solar es el que podemos ver en la *figura 8.1*. Se trata de un panel con 120 células monocristalinas, una potencia de 600 W bajo condiciones STC (*tabla 2*) y con capacidad de alcanzar eficiencias del 21%. El panel solar se identifica con el nombre de Vertex 600 y en la instalación de generación habrá 100 como éste.

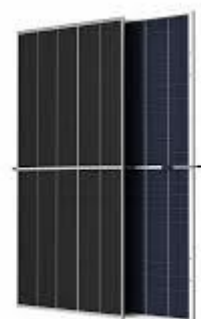


Figura 8.1: Panel solar Vertex 600.

Para el caso de aerogeneradores hemos seleccionado el aerogenerador E200 con una potencia nominal de 10 KW de la empresa ENAIR con una gráfica de potencia

en función de la velocidad del viento que podemos ver en la *figura 6.1*. El aerogenerador del que hablamos es el que podemos ver en la *figura 8.2* y del cual habrá 10 instalados como éste.



Figura 8.2: Aerogenerador ENAIR E200.

Vamos a dimensionar la demanda de energía para una urbanización. Vamos a utilizar el consumo diario de una vivienda y lo vamos a multiplicar por el número de viviendas de la urbanización que queremos abastecer de energía. Suponemos el consumo de una vivienda de 9KWh diarios y la distribuimos en cada una de las horas según los porcentajes de la *tabla 6*. El resultado de la demanda tanto de una vivienda como de las 150 lo podemos observar en la tabla resumen (*tabla 13*).

A continuación, se realiza un resumen en la *tabla 13* donde se recoge la energía generada mediante los paneles fotovoltaicos, la generada mediante los aerogeneradores y la demanda de energía de la urbanización. Cada uno de estos datos han sido calculados para cada hora del día partiendo de los datos de la irradiancia y de la velocidad del viento del día 25 de mayo, tal y como explicamos en los *apartados 6.1.1* y *6.1.2*.

Horas	Irradiancia (W/m2)	Viento (m/s)	Demanda vivienda (KWh)	Demanda de energía (KWh)	Producción Solar (KWh)	Producción eólica (KWh)	Energía sobrante por hora (KWh)
8:00	139	4	0,30	44,55	8,34	13,5	-22,71
9:00	321	6	0,15	22,28	19,26	47	43,98
10:00	468	7	0,62	93,56	28,08	70	4,52
11:00	608	8	0,59	89,11	36,48	96	43,37
12:00	493	9	0,15	22,28	29,58	101,4	108,70
13:00	582	10	0,27	40,10	34,92	101,4	96,22
14:00	460	10	0,27	40,10	27,6	101,4	88,90
15:00	403	10	0,42	62,38	24,18	101,4	63,20
16:00	537	10	0,74	111,39	32,22	101,4	22,23
17:00	541	10	1,04	155,94	32,46	101,4	-22,08



## Selección y dimensionamiento del sistema de almacenamiento de energía de una microrred aislada



Universidad de Valladolid

ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

18:00	473	10	0,97	144,80	28,38	101,4	-15,02
19:00	421	9	0,59	89,11	25,26	101,4	37,55
20:00	248	8	0,37	55,69	14,88	96	55,19
21:00	74	7	0,15	22,28	4,44	70	52,16
22:00	0	6	0,28	42,33	0	47	4,67
23:00	0	5	0,30	44,55	0	28	-16,55
0:00	0	5	0,19	28,96	0	28	-0,96
1:00	0	5	0,28	42,33	0	28	-14,33
2:00	0	5	0,30	44,55	0	28	-16,55
3:00	0	5	0,15	22,28	0	28	5,72
4:00	0	5	0,22	33,42	0	28	-5,42
5:00	0	4	0,28	42,33	0	13,5	-28,83
6:00	0	5	0,15	22,28	0	28	5,72
7:00	0	6	0,22	33,42	0	47	13,58

Tabla. 13: Resumen dimensionamiento de microrred. Caso práctico 1.

Vamos a analizar el dimensionamiento de la microrred.

El análisis como ya hemos comentado es del día 25 de mayo de 2022, como podemos ver en la tabla de resumen comenzamos el día 25 a las 8 de la mañana y finalizamos 24 horas después.

- En la generación de energía solar, hay horas en las que la producción de energía es nula debido a la ausencia del sol.
- Para el caso de la generación eólica hay grandes variaciones entre una hora y otra muy difíciles de predecir.
- Si nos fijamos en la última columna podemos ver la diferencia entre la energía generada y la demandada y en rojo podemos observar que hay horas del día en las que no somos capaces de generar energía suficiente para satisfacer la demanda y esto lo solucionaremos con un sistema de almacenaje de energía adecuado.

### 8.1.2. Selección de sistema de almacenamiento

A la hora de seleccionar el sistema de almacenamiento debemos tener presente la posibilidad de combinar varios y sobre todo debemos tener en cuenta el tamaño de la instalación de la microrred.

En la introducción de este primer caso práctico se menciona la necesidad de tratarse de un almacenamiento con una densidad de energía moderada ya que hay problemas de suelo para situar baterías, pero no hay problemas en altura. Además, se menciona que el lugar donde se va a realizar la instalación de almacenamiento es un lugar cerrado.

Por lo tanto, vamos a ir analizando posibilidades de sistemas de almacenamiento.



- Centrales hidroeléctricas de bombeo, Almacenamiento con aire comprimido, Almacenamiento de energía térmica. Estos sistemas van a quedar descartados ya que la instalación de almacenamiento se va a realizar en un espacio cerrado y limitado.
- Baterías electroquímicas, baterías de flujo, volantes de inercia y supercondensadores serán una posibilidad.

Los volantes de inercia son una solución bastante acertada ya que estaríamos hablando de grandes diferencias de generación entre horas continuas de un mismo día por tanto con la inercia mecánica del volante podríamos dar respuesta a la demanda no cubierta por la generación.

Las baterías de flujo suelen ser más utilizadas en casos en los que se prolongue más el tiempo en que debemos consumir energía de la almacenada, además suelen utilizarse para casos de mayor envergadura de la instalación.

Las baterías electroquímicas por último pueden ser una gran solución ya que como hemos visto anteriormente hay gran cantidad de tecnologías dentro de las baterías electroquímicas con características muy dispares que nos podrían dar una solución a este caso.

Para este caso seleccionamos un sistema de almacenamiento de energía mediante baterías electroquímicas que podría ir acompañado de un sistema de volantes de inercia o de supercondensadores para dar equilibrio a la red y dar respuesta rápida ante posibles picos de demanda.

En el caso estudiado actualmente, vamos a ponernos en el peor de los casos que como podemos ver en la *tabla 13* será entre las 23:00 y las 5:00. Nos encontramos que la demanda es superior a la generación por lo que debemos tener la energía correspondiente almacenada para dar respuesta a ese déficit de energía.

Si sumamos los kWh entre esas horas tendremos que necesitamos tener almacenados unos 77 kWh. Como podemos ver, no es problema el almacenaje de esta cantidad de energía en horas anteriores por lo que instalando un sistema de baterías sería suficiente.

Una vez conocida la cantidad de energía que debemos tener almacenada para dar respuesta a la demanda del sistema y también conocemos los posibles sistemas de almacenamiento de energía vamos a seleccionar una batería compatible.

### 8.1.3. Selección de tecnología de baterías y dimensionamiento

Las baterías electroquímicas se pueden conectar en serie siempre y cuando se trate de la misma batería la que estamos conectando, por lo tanto, debemos conectar varias baterías para almacenar la energía necesaria.



Para seleccionar una tecnología nos ayudaremos de las tablas del apartado 6.3, pero antes debemos recabar la información necesaria en el enunciado del tipo de sistema que nos conviene.

No nos va a afectar que necesite mantenimiento, intentaremos que la toxicidad sea lo más reducida posible al igual que el riesgo de incendio y los problemas de corrosión. No necesitaremos que sea un sistema móvil o que se vaya a trasladar en alguna ocasión. La posibilidad de descarga profunda nos conviene, aunque no es necesaria.

El número de ciclos de vida será mediado, de unos 3000 ciclos las densidades de energía que buscamos relativamente bajas serán de unos 30Wh/Kg y la profundidad de descarga máxima pondremos que sea del 80%, es decir tiene posibilidad de descarga profunda.

Tras consultar las tablas del apartado 6.3 podemos llegar a la conclusión de que las baterías que más nos convienen para este caso serán las baterías de plomo ácido estacionarias OPZV y que nos podrían dar servicio tanto las de 2v como las de 6v.

Seleccionaremos una batería de tamaño medio como podría ser la batería de la empresa BAE, Batería de gel 2v 1900Ah cuyas características se muestran en la tabla 12.

Tipo	Pb-Ácido estacionarias
Tipo batería	Pb-Ácido OPzV
Identificación	Batería GEL 2V 1900Ah BAE C100
Empresa fabricante	BAE
D.O.D	50%
Voltaje nominal (V)	2
Capacidad nominal C100 (Ah)	1900
Celdas	1
Capacidad de energía (KWh)	3,80
Ciclos de vida aproximados	3000
Precio (€)	837,83 €
Peso (Kg)	97,7
Medidas (L*A*H) mm	215x277x710
Densidad de energía (KWh/Kg)	38,89
Precio KWh con D.O.D indicada (€/KWh)	0,15 €
Precio de cada ciclo de vida C100 (€/Ciclo)	0,28 €

Tabla. 14: Características de batería GEL 2V 1900Ah BAE C100 (OPzV).



Figura 8.3: Batería, Gel 2V 1900Ah BAE C100 (OPzV).

Como podemos ver en la *tabla 14*, la capacidad de energía de cada una de las baterías será de 3.80 KWh. Como esta tecnología tiene la capacidad de descarga profunda, tomaremos como máximo de energía que es capaz de suministrar el 80%. Nos quedaremos con que cada batería suministra 3.04 KWh cuando sea necesario.

Ya hemos visto antes que el déficit de energía era de 77 KWh por lo tanto debemos tener instaladas al menos 25 baterías. Lo que haremos será realizar el dimensionamiento para 30 baterías y así ir sobre seguro.

En la *tabla 15*, vamos a ver cómo evoluciona la energía almacenada en las baterías a partir del cómputo general de generación y demanda obtenido de la *tabla 13*. Utilizaremos un código de colores para indicar la carga de la batería en cada una de las horas del día.

Horas	Energía sobrante por hora (KWh)	Energía acumulada en baterías (KWh)
8:00	-22,71	-22,71
9:00	43,98	43,98
10:00	4,52	48,50
11:00	43,37	91,20
12:00	108,70	91,20
13:00	96,22	91,20
14:00	88,90	91,20
15:00	63,20	91,20
16:00	22,23	91,20
17:00	-22,08	69,12
18:00	-15,02	54,10
19:00	37,55	91,20
20:00	55,19	91,20
21:00	52,16	91,20
22:00	4,67	91,20
23:00	-16,55	74,65





0:00	-0,96	73,69
1:00	-14,33	59,36
2:00	-16,55	42,80
3:00	5,72	48,53
4:00	-5,42	43,11
5:00	-28,83	14,28
6:00	5,72	20,01
7:00	13,58	33,59

Tabla. 15: Acumulación de baterías. Caso práctico 1.

Como vemos tendremos dos intervalos del día en los que la energía almacenada de las baterías se encuentra descendiendo un momento a mediodía que no preocupa y otro momento más prolongado en el horario nocturno.

El valor de energía negativo a las 8 de la mañana no preocupa ya que estamos haciendo el estudio para un día contando con que empezamos con energía en la batería de 0 KWh. Si el día siguiente tuviéramos los mismos datos partiríamos de 33KWh y seríamos capaces de suministrar la energía necesitada a las 8 de la mañana.

Si comparamos la columna de la energía que tenemos almacenada y la energía sobrante de cada día vemos que hay horas en las que podríamos almacenar mucha más energía de la almacenamos, pero con estas baterías somos capaces de cubrir la demanda.

#### 8.1.4. Resultados de aplicación Access

Si hacemos recopilación de todos los datos comentados en la introducción del caso práctico y los añadimos en la aplicación obtendremos los mismos resultados que hemos comentado anteriormente. Lo podremos ir viendo en las siguientes imágenes que iremos comentando a continuación.

Comenzamos con los datos necesarios para calcular la energía generada tanto solar como eólica, por lo tanto, añadiremos los datos de la velocidad del viento y de la irradiancia que se registra en Boecillo el día 25 de mayo de 2022.

También debemos añadir el número de aerogeneradores y de paneles solares que lleva instalados nuestra microrred. Además, añadiremos unos datos aproximados de la cantidad de energía que almacenará cada batería que instalemos y el número de baterías a instalar. Jugaremos con la cantidad de baterías y la capacidad de estas hasta conseguir que la acumulación de las baterías se encuentre siempre en positivo teniendo en cuenta la demanda y la generación. Finalmente, el resultado que se obtiene es el que vemos en la *figura 8.4*.

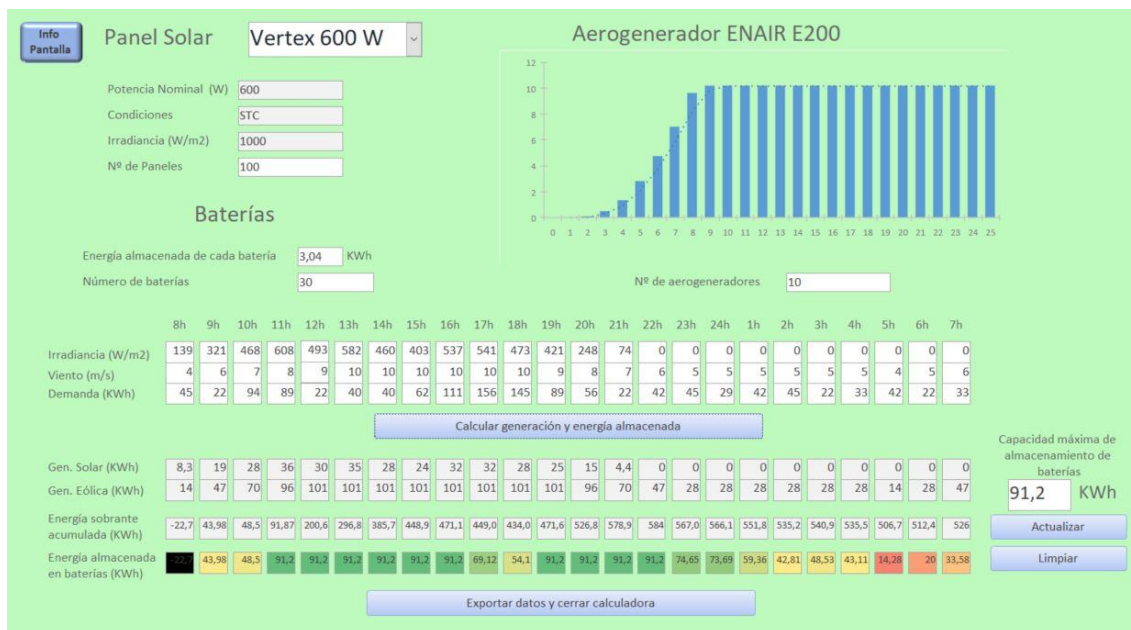


Figura 8.4: App Access; Dimensionamiento de la microrred. Caso práctico 1.

Partíamos de tener una instalación de 100 paneles solares y 10 aerogeneradores y una demanda que se corresponde con el consumo de 120 viviendas. Para este día en concreto necesitaremos 30 baterías con un almacenamiento útil de 3.04 KWh por cada batería que suponen un almacenamiento energético total de 91.2 KWh.

Una vez hemos dimensionado la microrred, pulsaremos el botón de exportar datos y cerrar calculadora y se registrarán los datos pertinentes en la pantalla de selección que vemos en la figura 8.5.

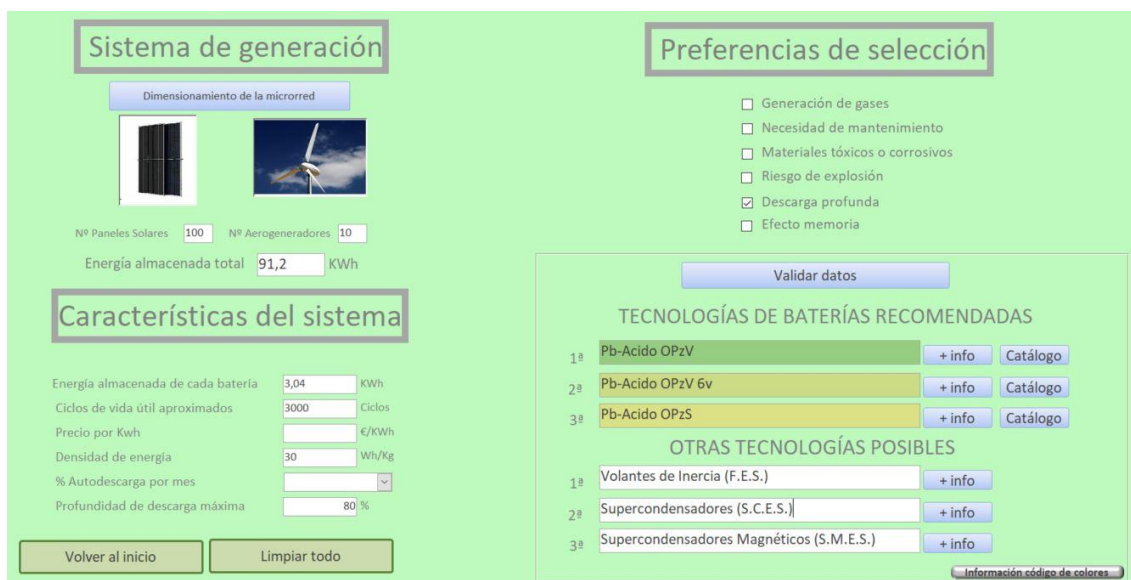


Figura 8.5: App Access; Selección de tecnología de almacenamiento. Caso práctico 1.

Si nos vamos al enunciado, extraeremos los datos que nos interesan para caracterizar nuestro sistema de almacenaje.



- Se indican los ciclos de vida aproximados que queremos que alcance nuestro sistema de baterías que será de 3000 ciclos.
- Obtenemos información acerca del mantenimiento. Este puede existir de manera esporádica sin problemas.
- Buscamos el menor impacto ambiental y riesgo de explosión.
- La profundidad de descarga se indica que no ha de ser muy elevada, y es por ello por lo que decidimos poner que como máximo sea del 80 % y siendo capaz la batería de realizar descargas profundas en una situación límite.
- Para terminar, la densidad se pide que sea una densidad media ya que no presentamos problemas de espacio.

Con todo lo comentado anteriormente rellenamos las características y preferencias del sistema como vemos en la *figura 8.5* y obtenemos que las tres tecnologías que mejor se adaptan a nuestro caso son: Pb-Ácido OPzV, Pb-Ácido, OPzV 6v y Pb-Ácido OPzS.

Se trata de tres tecnologías válidas para nuestro sistema, pero la que más de las 3 comparte con el caso concreto de estudio se trata de las baterías OPzV tanto de 2V como las de 6V.

Si lo comparamos con el *apartado 8.1.3* vemos que efectivamente la tecnología de las baterías es la misma y bajo el mismo razonamiento, pero en el caso de la aplicación te ofrece otras alternativas. También en la *figura 8.5* podemos ver los sistemas de almacenamiento complementarios o sustitutos de las baterías electroquímicas. Podemos ampliar información de cada uno de ellos en la propia aplicación en los botones que aparecen al lado de cada sistema.

Para terminar, si seleccionamos la tecnología estacionaria OPzV de 2V podemos ir al catálogo de baterías y seleccionar una batería compatible. Si buscamos la batería que seleccionamos anteriormente la encontraremos en el catálogo y lo podemos ver en la *figura 8.6*.

Filtros a aplicar

Tecnología de las baterías:  Ciclos de vida aproximados:  Energía almacenada (KWh)   
Empresa de fabricación  Voltaje Nominal (v)  Precio (€)

NºResultados 4\8

**DATOS GENERALES**

Identificación de la batería   
Empresa de fabricación   
Tipo de batería   
Voltaje Nominal (v)   
Capacidad nominal C100 (Ah)   
Numero de celdas

**DATOS ESPECÍFICOS**

Máxima corriente de descarga  A  
Resistencia interna  Ohmios  
Ciclos de vida aproximados  Ciclos  
Capacidad de energía  Kwh  
D.O.D. recomendada  %  
Densidad de energía  Kwh/Kg  
Peso  Kg  
Medidas (LxAxH)  mm  
Precio  €  
Precio Kwh con D.O.D. recomendada  €/Kwh  
Precio ciclo de vida con D.O.D. recomendada  €/Ciclo

Observaciones

Figura 8.6: App Access; Batería del catálogo. Caso práctico 1.

## 8.2. Caso práctico 2

Nos encontramos con una situación en la que tenemos un pueblo situado en la provincia de Zamora, se trata de Quintanilla del Olmo. Es un pueblo con 42 habitantes repartidos en aproximadamente 21 viviendas.

Vamos a suponer un consumo de cada vivienda medio de 9 KWh distribuido de manera correspondiente con las horas del día.

Se pretende hacer una instalación de energía solar suficiente para suplir la demanda energética del pueblo.

Se va a realizar la instalación de los mismos paneles que en el ejemplo anterior. Se realiza una instalación de 120 paneles. El análisis se realiza para los datos de la zona el día 23 de mayo de 2022.

La instalación será una instalación de baterías electroquímicas. Nos interesa que tengan una gran cantidad de ciclos de vida, una D.O.D también elevada y un mantenimiento reducido. La instalación se realizará en unos contenedores habilitados para tal actividad preparados contra incendios y con la correspondiente ventilación.

### 8.2.1. Dimensionamiento de la microrred

En primer lugar, lo que necesitaremos será obtener los datos de la irradiancia del día 23 de mayo en la zona de Quintanilla del Olmo. A continuación, lo que debemos hacer es tener claro el consumo de cada una de las viviendas en cada hora y esto multiplicarlo por el número de viviendas a las que queremos abastecer de energía.



A continuación, lo que haremos será realizar el cálculo de la energía producida mediante los paneles solares. Todos los datos de los que hemos hablado están recogidos en la *tabla 16*.

Horas	Irradiancia (W/m2)	Demanda 1 vivienda (KWh)	Demanda de energía (KWh)	Producción Solar (KWh)	Producción total (KWh)
8:00	144	0,30	6,24	10,368	4,13
9:00	325	0,15	3,12	23,4	20,28
10:00	498	0,62	13,10	35,856	22,76
11:00	649	0,59	12,48	46,728	34,25
12:00	767	0,15	3,12	55,224	52,11
13:00	844	0,27	5,61	60,768	55,15
14:00	868	0,27	5,61	62,496	56,88
15:00	724	0,42	8,73	52,128	43,40
16:00	566	0,74	15,59	40,752	25,16
17:00	179	1,04	21,83	12,888	-8,94
18:00	145	0,97	20,27	10,44	-9,83
19:00	105	0,59	12,48	7,56	-4,92
20:00	60	0,37	7,80	4,32	-3,48
21:00	15	0,15	3,12	1,08	-2,04
22:00	0	0,28	5,93	0	-5,93
23:00	0	0,30	6,24	0	-6,24
0:00	0	0,19	4,05	0	-4,05
1:00	0	0,28	5,93	0	-5,93
2:00	0	0,30	6,24	0	-6,24
3:00	0	0,15	3,12	0	-3,12
4:00	0	0,22	4,68	0	-4,68
5:00	0	0,28	5,93	0	-5,93
6:00	0	0,15	3,12	0	-3,12
7:00	0	0,22	4,68	0	-4,68

Tabla. 16: Resumen dimensionamiento de microrred. Caso práctico 2.

Al igual que vimos en el ejemplo anterior hay varias horas en las que la demanda de energía es mayor que la producción por lo que en este momento entra en juego el almacenamiento.

A partir de las 5 de la tarde tenemos un déficit de energía que se prolonga hasta las 7 de la mañana del día siguiente por tanto esta energía negativa es la que debemos tener almacenada como mínimo antes de las 5 de la tarde.

La suma aproximada es 80 KWh por lo tanto al menos debemos almacenar 80 KWh de energía.



### 8.2.2. Selección de sistema de almacenamiento

Como ya indicamos en la introducción del ejemplo el almacenamiento se va a realizar mediante baterías electroquímicas por lo que será necesario únicamente determinar qué tecnología de baterías utilizar.

Este sistema se podría acompañar de algún sistema auxiliar de estabilización de la red y respuesta rápida como podría ser el caso de los volantes de inercia o de los condensadores y superconductores magnéticos.

### 8.2.3. Selección de tecnología de baterías y dimensionamiento

En la introducción vemos unas cuantas ideas para seleccionar el tipo de batería y las mencionaremos a continuación.

- Mantenimiento reducido o nulo.
- Se realiza la instalación en un lugar cerrado pero ventilado y con las medidas de seguridad necesarias para evitar incendios y explosiones.
- Buscaremos una alta densidad de energía para reducir el espacio que ocupan las baterías y para reducir el número de baterías, necesitaremos la posibilidad de realizar descargas profundas y un alta D.O.D. permitida por el fabricante.
- El precio como es de esperar necesitamos que lo más reducido posible sobre todo en el precio por KWh almacenado.
- Además, al tratarse de una instalación para dar servicio a varias viviendas lo ideal será que aguante una gran cantidad de ciclos de vida.

Si consultamos las tablas del *apartado 6.3*, veremos que la tecnología que mejor se adapta a nuestro sistema es la de Iones de litio (LiFePO<sub>4</sub>). Se trata de una tecnología con elevados ciclos de vida, mantenimiento prácticamente nulo y una densidad de energía elevada. Además, permite descargas profundas y una D.O.D. elevada.

Seleccionamos una de las baterías con tecnología LiFePO<sub>4</sub> de la marca Pylontech. Seleccionamos la batería Pylontech 24V UP2500. En la *tabla 17*, vemos un resumen de sus características.

Tipo	Li-Ion
Tipo batería	LiFePO4
Identificación	Batería de Litio PYLONTECH 24V UP2500 2.85kWh
Empresa fabricante	Pylontech
D.O.D	80%
Voltaje nominal (V)	24
Capacidad nominal C100 (Ah)	118,75
Celdas	-
Capacidad de energía (KWh)	2,85
Ciclos de vida aproximados	6000
Precio (€)	1.309,95 €
Peso (Kg)	27,5
Medidas (L*A*H) mm	442x420x119
Densidad de energía (KWh/Kg)	103,64
Precio KWh con D.O.D indicada (€/KWh)	0,10 €
Precio de cada ciclo de vida C100 (€/Ciclo)	0,22 €

Tabla. 17: Características de batería 24V UP2500 de la empresa Pylontech.

La capacidad de almacenamiento de energía de cada una de estas baterías será de 2.85 KWh. Sabiendo que necesitamos almacenar más o menos una energía de 80KWh y suponiendo que la D.O.D. normal sea del 80 % debemos instalar al menos 35 baterías.

Finalmente, la instalación la haremos de 40 baterías de este tipo. Podemos ver una imagen de la batería que hemos seleccionado en este ejemplo en la *figura 8.7*.



Figura 8.7: Batería de Pylontech, 24V UP2500.

En *tabla 18*, vemos el análisis de realizar la instalación de las baterías mencionadas. Veremos la acumulación de energía de las baterías que alcanzan su máximo (91,2 KWh) de 12:00 a 16:00 que se corresponden con las horas de más sol.



Podríamos instalar más baterías para aprovechar mejor la energía de las horas de mayor generación, pero con la energía almacenada es suficiente para cubrir la demanda del resto del día.

Horas	Energía sobrante por hora (KWh)	Acumulado batería (KWh)
8:00	4,13	4,13
9:00	20,28	24,41
10:00	22,76	47,17
11:00	34,25	81,42
12:00	52,11	91,20
13:00	55,15	91,20
14:00	56,88	91,20
15:00	43,40	91,20
16:00	25,16	91,20
17:00	-8,94	82,26
18:00	-9,83	72,42
19:00	-4,92	67,51
20:00	-3,48	64,03
21:00	-2,04	61,99
22:00	-5,93	56,07
23:00	-6,24	49,83
0:00	-4,05	45,78
1:00	-5,93	39,85
2:00	-6,24	33,61
3:00	-3,12	30,49
4:00	-4,68	25,81
5:00	-5,93	19,89
6:00	-3,12	16,77
7:00	-4,68	12,09

Tabla. 18: Acumulación de baterías. Caso práctico 2.

Como podemos ver en la tabla de la acumulación de energía (tabla 18), las baterías se van a ir cargando durante las horas de mayor irradiancia y cuando ésta disminuye, comenzarán a descargarse las baterías. Cabe destacar que en caso de quedar a 0 la acumulación de la tabla aun las baterías contarían con el 20% de su capacidad, es decir, contarían con 22.8 KWh extras. Pero según el dimensionamiento que hemos realizado, las baterías instaladas para este día no se quedarán sin energía.

#### 8.2.4. Resultado de aplicación Access

Si hacemos recopilación de todos los datos comentados en la introducción del caso práctico y los añadimos en la aplicación obtendremos los mismos resultados que hemos comentado anteriormente. Lo podremos ir viendo en las siguientes imágenes que iremos comentando a continuación.

Primero comenzamos con el dimensionamiento de la microrred dónde metemos los datos del viento y de irradiancia del día 23 de mayo de 2022. Además, meteremos el número de paneles solares instalados en la microrred y el número de aerogeneradores que en este caso son 0. Pondremos la energía almacenada en una batería y el número de baterías. Todo esto lo podemos ver en la figura 8.8 en la que



podemos observar el estado del almacenamiento de las baterías con el código de color.

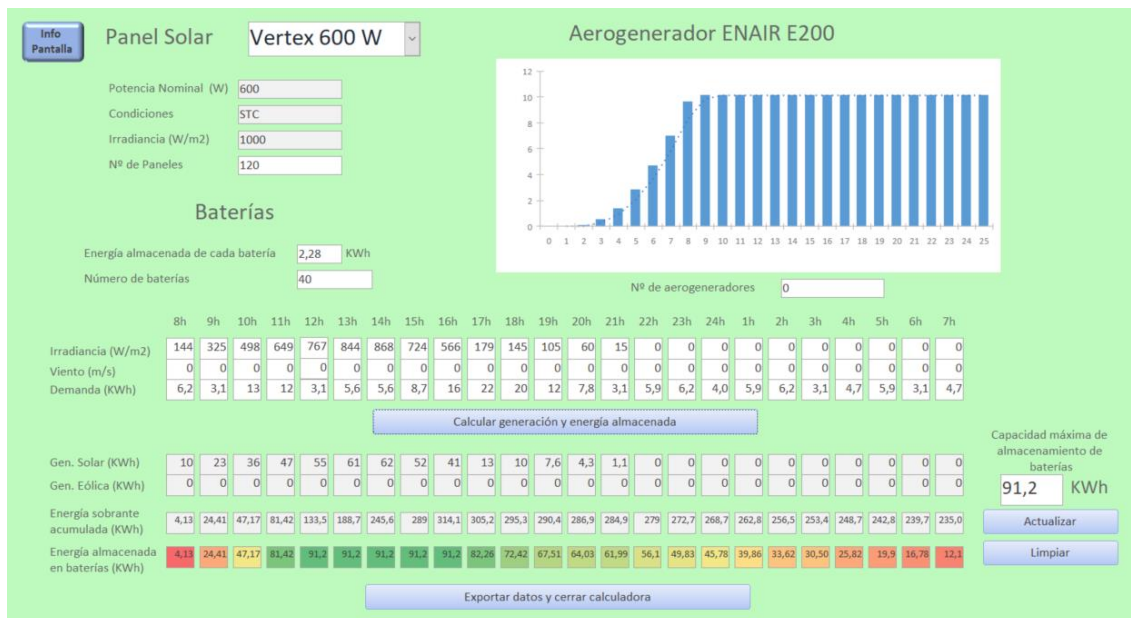


Figura 8.8: App Access; Dimensionamiento de la microrred. Caso práctico 2.

Una vez tenemos estos datos, presionaremos el botón de exportar datos y cerrar calculadora y los datos necesarios se pasarán a los campos de la figura 8.9.



Figura 8.9: App Access; Datos obtenidos del dimensionamiento. Caso práctico 2.

En la pantalla mostrada en la figura 8.10 tenemos datos que se rellenan automáticamente gracias a los datos obtenidos en la figura anterior y otros que

añadiremos nosotros de acuerdo con las indicaciones de la introducción al caso práctico actual.

Figura 8.10: App Access; Selección de tecnología de almacenamiento. Caso práctico 2.

En el recuadro de la *figura 8.10* vemos el resultado de las tecnologías de baterías recomendadas y de los sistemas de almacenamiento complementarios al caso práctico actual que estamos tratando.

Vemos que la tecnología de baterías recomendada es la de litio-Ion LiFePO4, seguida de una tecnología de Pb-Ácido OPzV y por último de Pb-Ácido AGM. Por el código de colores podemos afirmar que hay muchas coincidencias de la tecnología LiFePO4 con los requerimientos del sistema, pero no demasiados en el caso de las otras dos ya que deberían tener un color verde semejante al del número 1. Por lo tanto, no cabe duda de que la tecnología será la citada y la misma que nos había salido analizando las tablas.

Debajo de las tecnologías de baterías se habla de otras tecnologías posibles, El sistema nos ofrece valorar la posibilidad de instalar de manera complementaria los sistemas de respuesta rápida como son los volantes de inercia, los condensadores y los superconductores magnéticos.

Como conclusión podemos ver que la tecnología obtenida consultando las tablas y la obtenida mediante la aplicación de Access ha sido la misma. El programa nos va a ahorrar ir analizando cada una de las características y ver si me conviene más o menos que otras. De esta manera con aportar datos y un solo clic será suficiente.

A mayores podemos consultar el catálogo de las baterías de Li-Ion y buscar una batería que nos sirva para el caso concreto. Podemos encontrar la batería que comentamos anteriormente que se muestra en la *figura 8.11*.



Filtros a aplicar

Tecnología de las baterías:	LiFePO4	Ciclos de vida aproximados:		Energía almacenada (KWh)	
Empresa de fabricación		Voltaje Nominal (v)		Precio (€)	


Volver al inicio    **Filtrar**    <<    >>    **Limpiar**    Nº Resultados 6/7

### DATOS GENERALES

Identificación de la batería	Batería de Lítio PYLONTECH 24V
Empresa de fabricación	Pylontech
Tipo de batería	LiFePO4
Voltaje Nominal (v)	24
Capacidad nominal C100 (Ah)	118,75
Numero de celdas	

### DATOS ESPECÍFICOS

Máxima corriente de descarga	55	A
Resistencia interna		Ohmios
Ciclos de vida aproximados	6000	Ciclos
Capacidad de energía	2,85	Kwh
D.O.D. recomendada	0,8	%
Densidad de energía	103,63636363	Kwh/Kg
Peso	27,5	Kg
Medidas (LxAxH)	442x420x119	mm
Precio	1309,95	€
Precio Kwh con D.O.D. recomendada	0,0958	€/Kwh
Precio ciclo de vida con D.O.D. recomendada	0,2183	€/Ciclo



Observaciones

Figura 8.11: App Access; Batería del catálogo. Caso práctico 2.



## 9. Conclusiones

En el presente documento se ha llevado a cabo un análisis del estado actual de los sistemas de almacenamiento de la energía y de distintas tecnologías de almacenamiento. Se han presentado herramientas útiles para diferenciar entre los distintos sistemas y ser capaces de seleccionar uno adecuado para un caso concreto.

Las tecnologías de almacenamiento más utilizadas actualmente dependen mucho de la instalación que se realice, pero, actualmente, para microrredes aisladas, se basa su almacenamiento en baterías electroquímicas y más concretamente en baterías del tipo Li-Ion. Por el contrario, las baterías de Plomo-Ácido son cada vez menos utilizadas ya que emplean materiales tóxicos perjudiciales para la naturaleza.

Hablamos también de la aplicación que acompaña al actual TFG mediante la cual podemos obtener un sistema de almacenamiento y la tecnología de baterías de forma sencilla. El programa creado, también nos ofrece la posibilidad de dimensionar tanto la microrred como el sistema de almacenamiento para encontrar un equilibrio. Se presentan las diferentes pantallas con las que cuenta la aplicación, y el funcionamiento de estas.

En el documento también se indica el procedimiento para el dimensionamiento de una microrred concreta con generación solar, eólica y cargas y se muestran varios casos prácticos que demuestran el funcionamiento del procedimiento y la posterior selección de un sistema de almacenaje. Además, en cada uno de los casos prácticos, vemos que el uso de la aplicación nos conduce a los mismos resultados que han sido obtenidos de manera teórica, e incluso nos ofrece otras soluciones alternativas o complementarias.



## 10. Bibliografía

Adrià L. S. Universitat Politècnica de Catalunya Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa. (octubre 2015). Estudio del almacenamiento de energía mediante aire comprimido. Los Sistemas CAES. Recuperado de: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/81020/TFG+-+Adri%EO+Llad%F3+-+Estudio+del+almacenamiento+de+energía+mediante+aire+comprimido.+Los+sitemas+CAES+\(Compressed+Air+Ener~1.pdf?sequence=1](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/81020/TFG+-+Adri%EO+Llad%F3+-+Estudio+del+almacenamiento+de+energía+mediante+aire+comprimido.+Los+sitemas+CAES+(Compressed+Air+Ener~1.pdf?sequence=1)

Álvaro R. (9 febrero 2022). Las centrales termo solares con almacenamiento de energía. Recuperado de: <https://esenergia.es/centrales-termosolares-almacenamiento/>

Aquae Fundación. Energía hidráulica: electricidad basada en el movimiento del agua. Recuperado de: <https://www.fundacionaquae.org/que-es-la-energia-hidraulica/>.

Aula 21. Centro de formación técnica para la industria. Que es un sistema SCADA, para que sirve y cómo funciona. Recuperado de: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-scada/>

AutoSolar. Baterías estacionarias OPzS 2V. Recuperado de: <https://autosolar.es/baterias-estacionarias-opzs-2v>

Bateríadelitiorecargable.com. Que son las baterías Litio y Titanio (LTO). Recuperado de: <https://www.bateríadelitiorecargable.com/es/content/30-baterias-litio-titanio-lto>

CENER. Baterías de flujo. Recuperado de: <https://www.cener.com/documentacion/microrred-ficha-407.pdf>

Damia Solar. (2015). Descubre las baterías de vasos o estacionarias. Recuperado de: [https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/descubre-las-baterias-de-vasos-o-estacionarias\\_1](https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/descubre-las-baterias-de-vasos-o-estacionarias_1)

David. P. (1 febrero 2022). Así son las baterías redox libres de metales para almacenar energía renovable. Recuperado de: <https://www.motor.es/futuro/baterias-redox-libres-metales-economicas-almacenar-energia-renovable-202284609.html>

Energías renovables. (16 diciembre 2021). La eólica es ya la principal fuente de generación eléctrica en España. Recuperado de: <https://www.energias-renovables.com/eolica/red-electrica-confirma-la-eolica-es-ya-20211216#:~:text=En%20conjunto%2C%20las%20renovables%20lograr%C3%ADan,principales%20indicadores%20del%20sistema%20el%C3%A9ctrico.>

Gil I. (2010). DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA HÍBRIDO BASADO EN BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES PARA SU INTEGRACIÓN EN



MICRORREDES ELÉCTRICAS. Recuperado de:  
<http://catedraendesa.us.es/documentos/ProyectoFinCarrera%20IGM.pdf>

Gonzalo G. (11 agosto 2020). Ánodos de titanato de litio, lantano y perovskita: la batería perfecta para los coches eléctricos. Recuperado de:  
<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/anodos-titanato-litio-lantano-perovskita-bateria-perfecta-coches-electricos/20200810203737037289.html>

Hidro Proyectos. Centrales hidroeléctricas de bombeo. Recuperado de:  
<http://www.hidroproyectos.com/n.php?n=CENTRALES-HIDROELECTRICAS-DE-BOMBEO>

Iñigo D. O. Escuela técnica superior de ingenieros de Minas y energía. (Julio 2018). Tecnologías de los volantes de inercia. (pp.22).

Juan Manuel C.O. Universidad Carlos III, Madrid, Escuela politécnica superior. (octubre 2015). Estudios de aplicación óptima de baterías de flujo en redes de distribución eléctrica. (pp.22)

Magdalena A. El Definido. (1 diciembre 2015). Globos bajo el mar: La nueva solución para masificar las energías renovables. Recuperado de:  
<https://eldefinido.cl/actualidad/mundo/6168/Globos-bajo-el-mar-La-nueva-solucion-para-masificar-las-energias-renovables/>

Microtex. (2021). ¿Qué es la batería OPzV? 2021. Recuperado de:  
<https://microtexindia.com/es/que-es-la-bateria-opzv/>

Monsolar.com. Baterías estacionarias. Recuperado de:  
<https://www.monsolar.com/fotovoltaica-aislada/baterias/estacionarias.html>

Plusenergy Solar. Baterías Solares CPzS. Recuperado de:  
<https://www.wccsolar.es/baterias/cpzs-2v/#:~:text=Diferencias%20entre%20bater%C3%ADas%20cpzs%20y%20bater%C3%ADas%20opzs&text=Esto%20se%20traduce%20en%20que,cynetic%20incluso%20Oeliminar%20el%20mantenimiento.>

Pontificia Universidad Católica de Chile. Costos de los sistemas de almacenamiento. Recuperado de:  
<https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno17/pasada/costosalmacenamiento.html>

Raquel R. Eco Medio Ambiente. (30 octubre 2013). Almacenamiento de energía: Central hidroeléctrica de bombeo. Recuperado de:  
<http://ecomedioambiente.com/energias-renovables/almacenamiento-de-energia-central-hidroelectrica-de-bombeo/#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20de%20almacenamiento%20de,r%C3%ADo%20hasta%20un%20embalse%20superior.>

Roca J.A., Periódico de la energía. (15 julio 2021). Las 10 hidroeléctricas más grandes del mundo: China ya alberga cinco centrales del Top 10. Recuperado de:



<https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-centrales-hidroelectricas-mas-grandes-del-mundo/#:~:text=China%20sigue%20siendo%20el%20%3ADder,resto%20de%20los%20cinco%20primeros.>

Roca J.A., Periódico de la Energía. (2017). Las 10 mayores centrales hidroeléctricas de bombeo del mundo. Recuperado de: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-centrales-hidroelectricas-de-bombeo-del-mundo/#:~:text=1.Central%20de%20Bath%20County.&text=Es%20la%20la%20ce ntral%20de,de%201.600%20millones%20de%20d%C3%B3lares.>

Sandra A., El Economista. (22 noviembre 2021). Elecnor construye el mayor parque eólico de España por 64 millones. Recuperado de: <https://www.eleconomista.es/energia/noticias/11488676/11/21/Elecnor-construye-el-mayor-parque-eolico-de-Espana-por-64-millones.html>

Sener, Planta solar térmica Gemasolar. Recuperado de: <https://www.energy.sener.es/proyecto/gemasolar>

Serviaire. Almacenamiento de energía por aire comprimido. Recuperado de: <https://www.serviaire.com/almacenamiento-de-energia-por-aire-comprimido/>

SolarPlak. ¿Cuánto duran las baterías de las placas solares?. Recuperado de: <https://solarplak.es/energia/cuanto-duran-las-baterias-de-las-placas-solares/>

TAB Solar. Baterías con contenedor de polipropileno (PP) translúcido. Recuperado de: <https://tab-solar.com/acumuladores-y-baterias-solares/bateria-topzs-solar/>

Tecnología de las baterías. Recuperado de: <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/PresentacionBaterias.pdf>

TodoSai 2.0. (2016). BATERÍAS - TIPOS Y USOS 2022. Recuperado de: <https://todosai.com/blog/baterias-tipos-y-usos-b50.html>

Watt-u-need.com. OPzV Valve regulated lead-acid batteries. Recuperado de: [https://www.wattuneeed.com/es/-bater%C3%ADas-opzv-y-opzs/767-hoppecke-opzv-bater%C3%ADa-solarpower-0712971127425.html?gclid=CjwKCAjwiiuRBhBvEiwAFXKaNBfFdwghMCPsmRH66Km3IFpioSyMneObujDqVIJp1py5T6M5HnPnKhoCq6cQAvD\\_BwE](https://www.wattuneeed.com/es/-bater%C3%ADas-opzv-y-opzs/767-hoppecke-opzv-bater%C3%ADa-solarpower-0712971127425.html?gclid=CjwKCAjwiiuRBhBvEiwAFXKaNBfFdwghMCPsmRH66Km3IFpioSyMneObujDqVIJp1py5T6M5HnPnKhoCq6cQAvD_BwE)

Wikipedia. Batería redox de vanadio. Recuperado de: [https://hmong.es/wiki/Vanadium\\_redox\\_battery](https://hmong.es/wiki/Vanadium_redox_battery)

World Energy Trade. (1 octubre 2021). Las baterías de flujo de hierro podrían desbancar a las de iones de litio del primer puesto. Recuperado de: <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/investigacion/las-baterias-de-flujo-de-hierro-podrian-desbancar-a-las-de-iones-de-litio-del-primer-puesto>



Universidad de Valladolid

**Selección y dimensionamiento del sistema  
de almacenamiento de energía de una  
microrred aislada**



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Yuskel A. (2019). ENERGY IQ: ¿QUÉ ES UN ENERGÍA Y CÓMO FUNCIONAN LAS MICRORREDES? Recuperado de: <https://www.cummins.com/es/news/2019/12/06/energy-iq-what-microgrid-and-how-microgrids-work>.

Yuskel A. (2020). ENERGY IQ: ¿QUÉ ES EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ESTACIONARIA Y CÓMO FUNCIONA EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA? Recuperado de: <https://www.cummins.com/es/news/2020/02/28/energy-iq-what-stationary-energy-storage-and-how-energy-storage-works>

Yuskel A. (2021). COMPONENTES DE MICRORREDES. Recuperado de: <https://www.cummins.com/es/news/2021/09/23/microgrid-components>