

TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO EN LAS ENERGÍAS RENOVABLES SOLAR Y EÓLICA



1. INTRODUCCIÓN**2. LA ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA EN CASTILLA Y LEÓN****3. TECNOLOGIAS DE ALMACENAMIENTO CONVENCIONALES****4. TECNOLOGIAS DE ALMACENAMIENTO EN LA ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA****5. PROYECTOS****6. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS**

1. INTRODUCCIÓN

El complejo proceso de almacenar energía ha resultado ser la clave en diferentes sistemas de generación a través de tecnologías renovables. La naturaleza es generadora de esta energía, pero también es capaz de acumularla mediante diversos mecanismos. El objetivo de científicos e ingenieros es aprovechar la capacidad de generación y almacenamiento para utilizarla cuando el ser humano la precise.

Los sistemas de almacenamiento de energía que han sido comercializados hasta el momento, son sistemas de almacenamiento eléctrico, biológico, químico, mecánico, térmico y nuclear.

En la actualidad son muchos los esfuerzos por encontrar tecnologías de almacenamiento energético que logren equilibrar la infraestructura eléctrica, generar energía para ser autosuficientes y rentabilizar instalaciones de energías renovables, que de no ser por la existencia de estas fuentes de almacenamiento resultarían menos rentables.

Cabe destacar que la necesidad de ajuste de la oferta energética a la demanda requiere una etapa de almacenamiento de energía. La exigencia de este almacenamiento está más presente en las energías renovables de origen eólico o solar. El hidrógeno se presenta en actualmente como una de las soluciones más probables para el almacenamiento de energía. Cada vez resulta más atractivo el cambio en la economía fundamentalmente orientada en los combustibles fósiles, hacia una economía que se incline por el hidrógeno, las pilas de combustible y otras tecnologías de carácter novedoso.

Actualmente existe un grado de conocimiento que hace que las energías renovables sean la solución a un problema de desgaste de las energías no renovables. El estado de desarrollo de las energías limpias se encuentra en una fase muy avanzada dentro del campo tecnológico y científico lo que llevará a un desarrollo decidido por parte de los sectores social e industrial. En este terreno los poderes públicos tienen un campo de actuación muy importante para que tenga lugar la implantación de una nueva cultura en el almacenamiento de las energías renovables.

2. LA ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA EN CASTILLA Y LEÓN

Las tecnologías Solar y Eólica, son las de mayor presencia en Castilla y León, dentro del ámbito de las energías renovables.

Son numerosas empresas de la Comunidad, las que tienen como actividad la fabricación, distribución y explotación de este tipo de tecnologías. Sin duda, estas han generado riqueza, empleo y fijación de población en Castilla y León.

Castilla y León está posicionada en ambas renovables, llegando a tener el primer puesto a nivel nacional en producción eólica y una muy buena posición en energía solar fotovoltaica.

ENERGIA EOLICA

La comunidad que más energía eólica instaló en el pasado año, fue Castilla y León situándose en 917 MW la potencia instalada. Ha de resaltarse que esta posición de nº 1 en potencia instalada ya fue alcanzada en el año anterior. De la potencia que fue instalada el año pasado en España, corresponde al 60,4% la instalada en Castilla y León. Le siguieron Cataluña y Andalucía.

El Ranking Oficial del cómputo global acumulado de potencia instalada en España, sigue siendo Castilla y León la nº1 seguida de Castilla – La Mancha y Galicia.

España, así lo refleja la nueva Ley de Economía Sostenible, cumplirá con el objetivo de que el **20% del consumo final de energía proceda de fuentes renovables** en 2020, al igual que el resto de Países Europeos. En este ámbito se considera a la energía eólica como fundamental para la consecución del objetivo marcado.

La potencia instalada que se prevé en España para 2011 son 35.000 MW de eólica terrestre y 3.000 MW de marina.

A 22 de Julio de 2011 Castilla y León posee 4.909 MW eólicos instalados, lo que le sigue posicionando como la nº1 a nivel nacional.

Castilla y León se sitúa por delante de Castilla-La Mancha, que cuenta con 3.709 MW instalados, y Galicia, que suma 3.290.

La previsión de crecimiento podría llegar en Castilla y León a los 7.034 MW según fuentes de APECYL patronal Castellano Leonesa de Energía Eólica, dado que existen quince parques en los que ya se han comenzado las obras y otras 94 instalaciones que cuentan con autorización administrativa. Todos ellos sumarían un total de 2.124 MW.

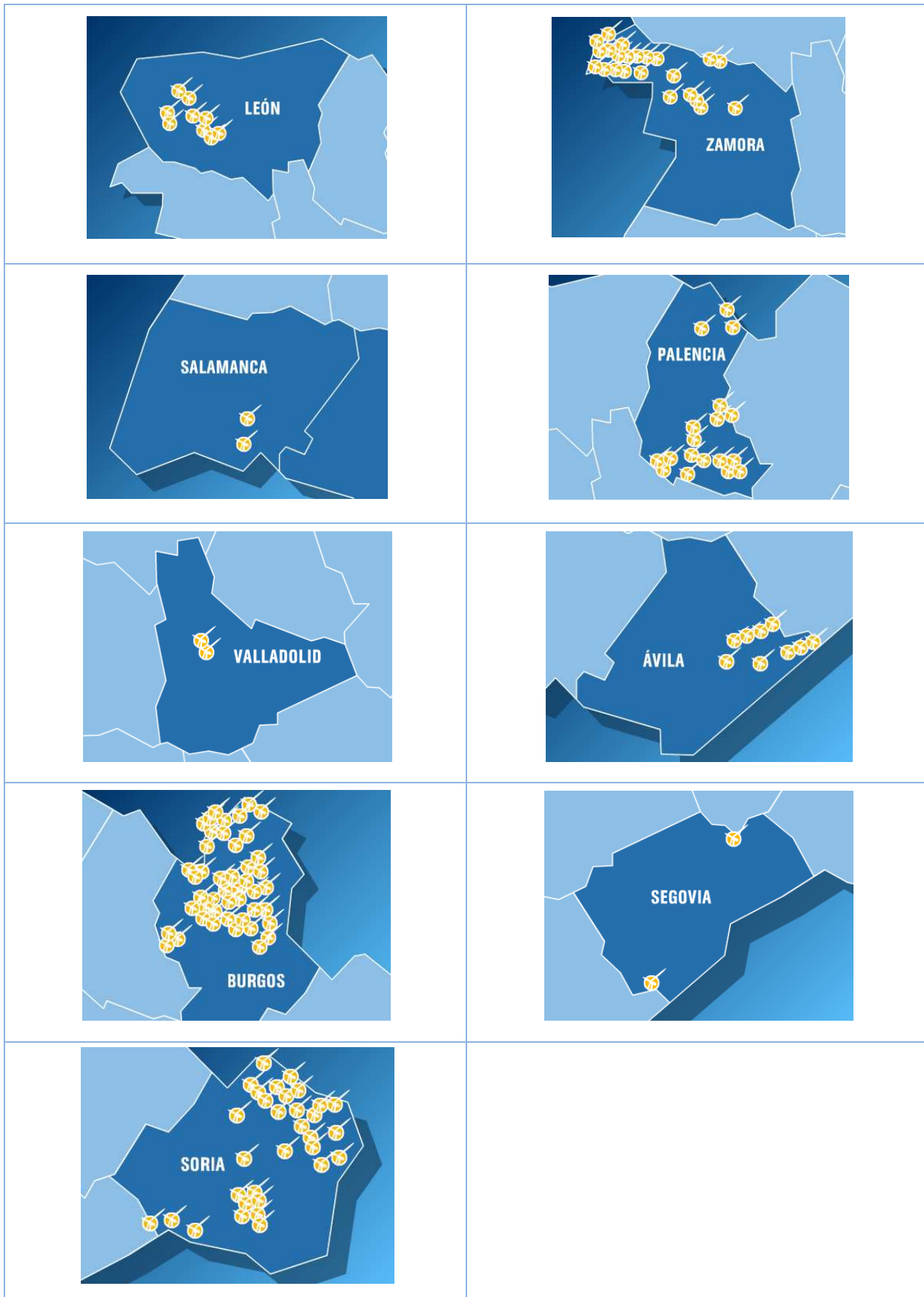
En la actualidad son 198 parques eólicos los que funcionan en Castilla y León siendo Burgos la de mayor potencia instalada que cuenta con 64 parques, seguida por Soria con 37 parques, Palencia 28 y Zamora 27.

Castilla y León ha experimentado un gran avance en lo referido a energía eólica y ha pasado de 13 MW en 1998 a 4.909,16 MW a día de hoy. Esta potencia genera más del 20 % de toda la energía eólica que se produce en España.

Castilla y León



FUENTE: AEE



Fuente: APECYL

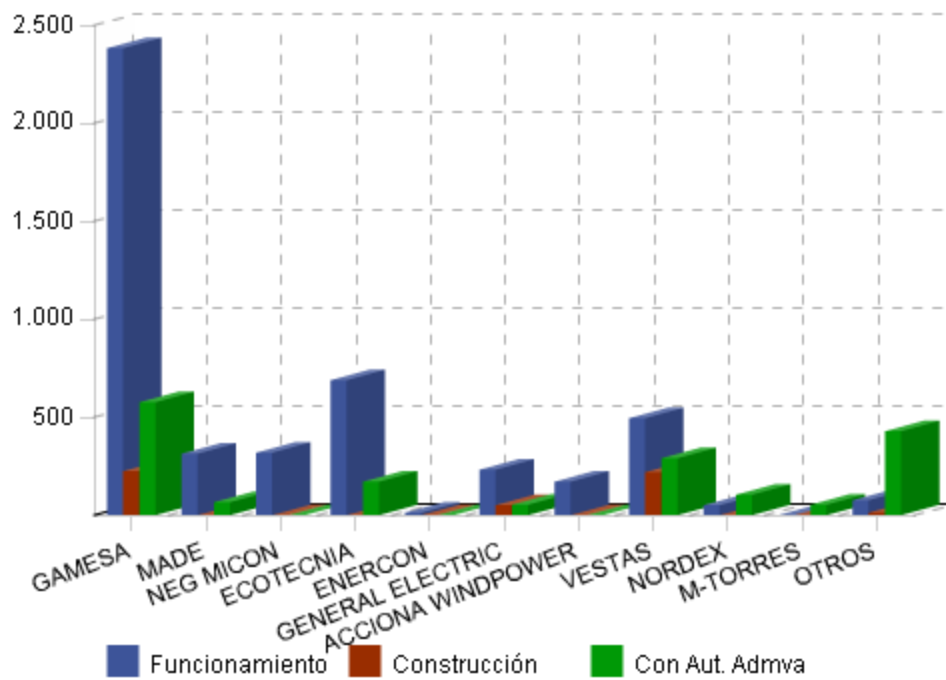
AÑO 2011

Potencia eólica distribuida por provincias en Castilla y León (MW)



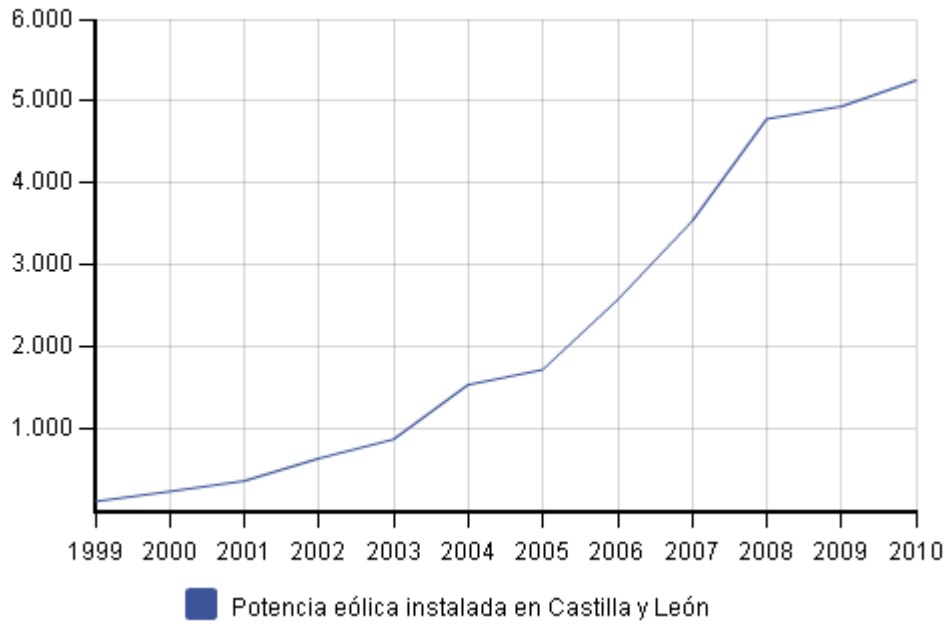
FUENTE: EREN – Junta de Castilla y León

Potencia eólica distribuida por fabricantes en Castilla y León



Fuente: EREN – Junta de Castilla y León

Potencia instalada en Castilla y León (en funcionamiento y en construcción)



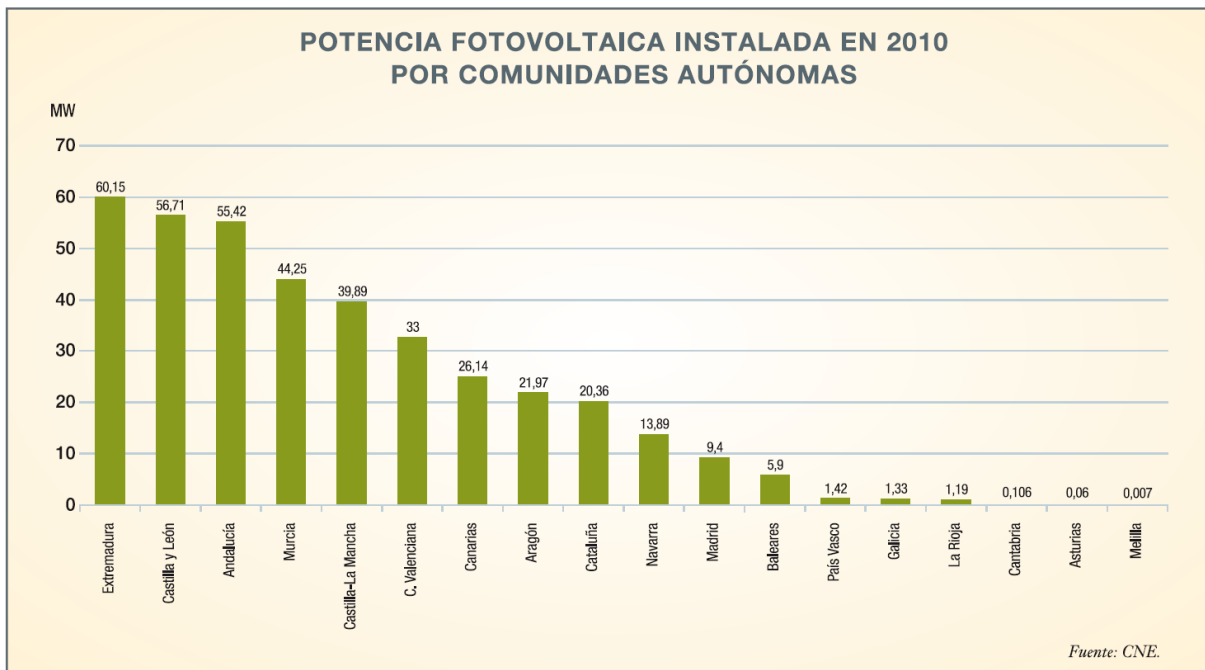
FUENTE: EREN – Junta de Castilla y León

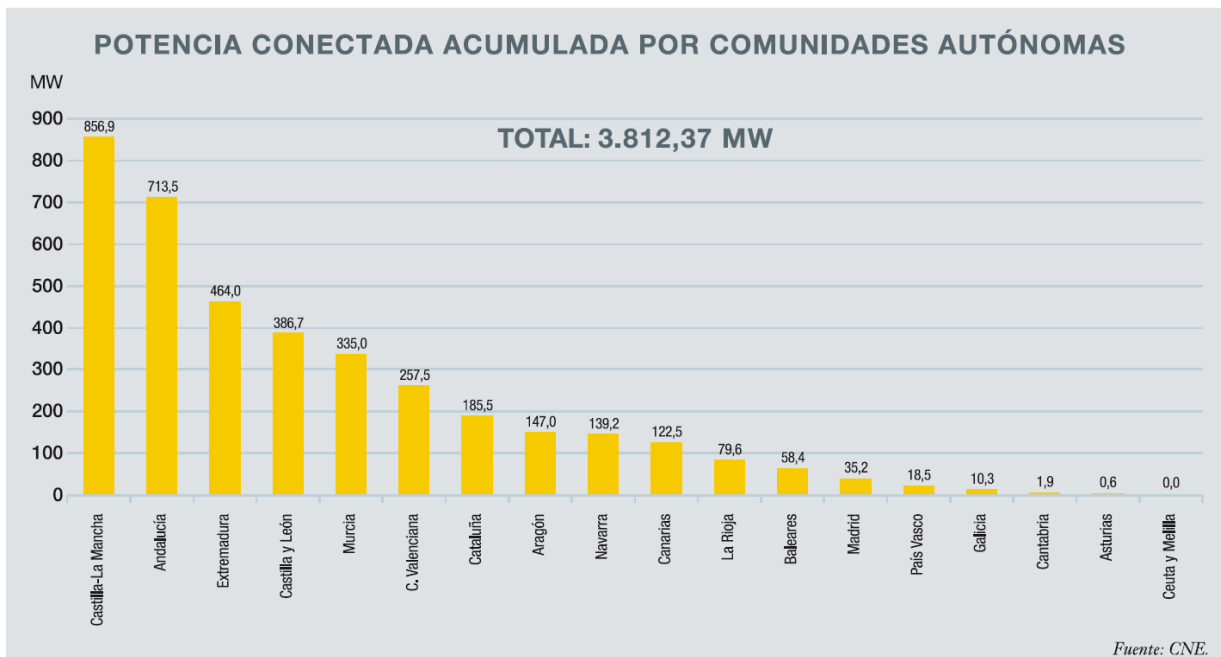
ENERGÍA SOLAR

La energía solar fotovoltaica en Castilla y León ha resultado ser un motor de empleo y generación de riqueza hasta aproximadamente el año 2009 en el que la regulación dio un giro de 360º.

Castilla y León cubrió con esta energía el 4,29% de su demanda eléctrica total en 2010. De los 3.812,37 MW fotovoltaicos conectados a la red eléctrica en España el año pasado, algo más del 10%, es decir 386,7 MW, se ubican en la comunidad autónoma.

La crisis ha atacado especialmente a este sector, prueba de ello es que se ha pasado de 4.000 puestos de trabajo que había en 2008, a unos 2.000 en el año 2010. La inestabilidad en la regulación del sector, ha provocado que el número de instalaciones fotovoltaicas haya caído en los últimos 3 años y es por esto que en la actualidad, más del 70% de los materiales fotovoltaicos que se fabrican se destinan a la exportación.





Actualmente Castilla y León se sitúa como la primera comunidad productora en el sector de la energía solar fotovoltaica. Esto es así puesto que existen 12 fábricas en la región, de componentes y material fotovoltaico.

EMPRESAS PRODUCTORAS DE MATERIAL FOTOVOLTAICO EN CASTILLA Y LEÓN



Fuente: ASIF / eclareon.

En la página web del Ente Regional de la Energía se pueden visualizar diferentes mapas con geolocalización, en el cual figuran todas y cada una de las centrales fotovoltaicas con conexión a red existentes de la región. <http://www.eren.jcyl.es>

TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO CONVENCIONALES

3. TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO CONVENCIONALES

El almacenamiento eficaz y barato de la energía ha sido durante muchos años una pieza fundamental en las energías renovables.

El almacenamiento energético tomó un papel fundamental con la aparición de la energía eléctrica y los combustibles, resultando ser de gran impulso para la economía de la época y actualmente todavía se considera como tal.

Otros métodos de almacenamiento utilizados, como el carbón o la madera, difieren de la electricidad en que ésta debía utilizarse debido a que era generada pero no podía ser almacenada.

Durante un largo periodo de tiempo los combustibles han sido la forma más importante de almacenamiento de energía (generación eléctrica y transporte de energía).

Los combustibles petroquímicos se procesan de la gasolina, el carbón, el gasóleo, el gas natural, GLP, etc. Estos productos químicos se convierten fácilmente en energía mecánica, eléctrica o en calor.

Otros de los sistemas convencionales de almacenamiento de energía son las baterías y presentan carencias como descargas frecuentes y profundas, incapacidad de satisfacer demandas de alta potencia, además de su costo inicial elevado. Otra de las características de las baterías convencionales es su corta vida, lo cual las hace poco rentables.

En la actualidad se han desarrollado otros sistemas de almacenamiento que tienen como objetivo primordial proporcionar una solución de almacenamiento de energía estacionaria, de alto rendimiento, bajo costo y alta potencia.

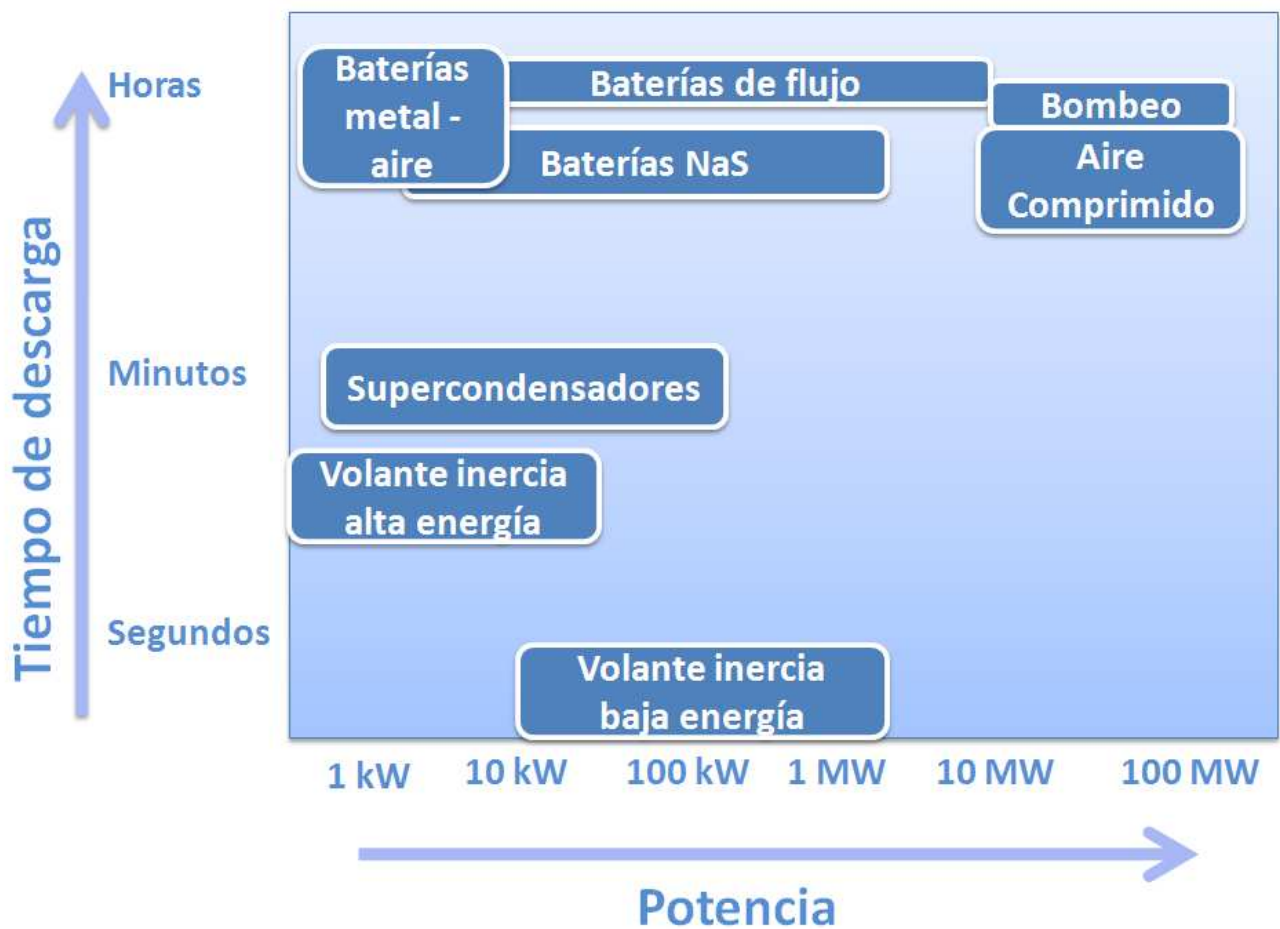
Las baterías y acumuladores han sido, y aún siguen siéndolo, un método para almacenar energía de forma convencional.

TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO EN LA ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA

4. TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO EN LA ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA

La innovación en tecnologías de almacenamiento de energía solar y eólica se considera de vital importancia puesto que la necesidad de regulación de estas instalaciones de generación eléctrica atiende a unos requisitos específicos de demanda, consumos y estabilidad de la red.

Las nuevas técnicas de almacenamiento de energía permitirán el funcionamiento de este tipo de instalaciones de energías renovables cuando en situaciones convencionales actuales no es posible. De esta forma la generación eléctrica mediante sistemas limpios y sostenibles cubrirá un mayor porcentaje que el actual.



Fuente: Red Eléctrica de España

4.1. Almacenamiento de aire comprimido en cavidades subterráneas

El sistema de almacenamiento por aire comprimido consiste en convertir la energía eléctrica de origen fotovoltaico o eólico en energía almacenada mediante la compresión de aire en el interior de un depósito o cueva.

Estos sistemas son llamados Compressed Air Energy Storage (CAES).

Las instalaciones CAES están formadas por potentes motores eléctricos que alimentan a compresores que son los encargados de comprimir aire, en una formación geológica subterránea, durante periodos de tiempo en los que las demandas eléctricas son menores.

Una de las características más destacables de esta tecnología es que el aire se comprime de forma escalonada con enfriamientos intermedios, por lo que se consigue un rendimiento óptimo en la etapa de almacenamiento de energía.

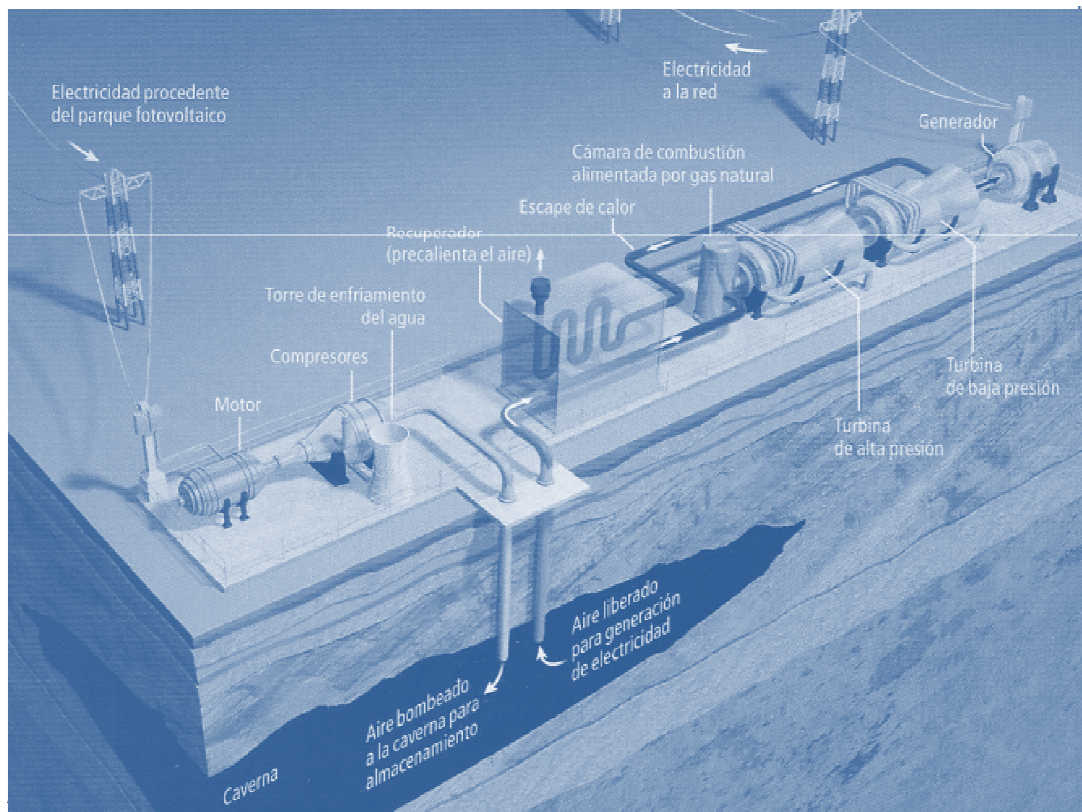
Cuando es necesaria la energía eléctrica, durante periodos de alta demanda, se utiliza el aire comprimido anteriormente almacenado para alimentar turbinas de gas, también con un ciclo recuperativo de buen rendimiento termodinámico, con combustión y post combustión y recuperación de calor de los gases de salida. Todavía es necesario el uso de gas natural u otros combustibles fósiles para que funcionen las turbinas. Aún así el proceso es mucho más eficiente y utiliza hasta un 50% menos de gas natural que un sistema normal de producción de electricidad.

Aunque en los expansores se efectúe un ciclo recuperativo, el rendimiento total de las turbinas de gas no permitirá alcanzar el rendimiento total habitual que ostentan este tipo de instalaciones (a partir del 75%). En realidad, durante la etapa de generación, es decir, de transformación de energía acumulada, la totalidad de la energía generada por las turbinas de gas es utilizada para el accionamiento del generador eléctrico. Lo que quiere decir es que la energía no se deriva para el accionamiento de compresores u

otros dispositivos que podrían constituir un factor limitante del rendimiento de las turbinas de gas.

Se diferencian dos tipos de procesos:

- **Con emisiones:** Se produce el calentamiento del aire comprimido a través de la combustión de gas y posteriormente se expande en una turbina. Finalmente se produce energía eléctrica y calor que se puede reutilizar.
- **Sin emisiones:** Se produce un calentamiento del aire comprimido a través del calor que se extrae al aire en el proceso de compresión. En este caso concreto es necesario un sistema de almacenamiento de energía térmica. Es lo que se denomina Sistema adiabático.



Fuente: Universidad de Arizona

Existen diferentes depósitos para almacenar el aire comprimido:

- Acuíferos naturales
- Grutas de sal excavadas hidráulicamente
- Cavernas construidas en rocas.

El almacenamiento de la energía procedente de las tecnologías eólica y solar en forma de aire comprimido es una solución muy viable para que se pueda adaptar la irregularidad del suministro a la irregularidad de la demanda.

4.2. Baterías de plomo - ácido

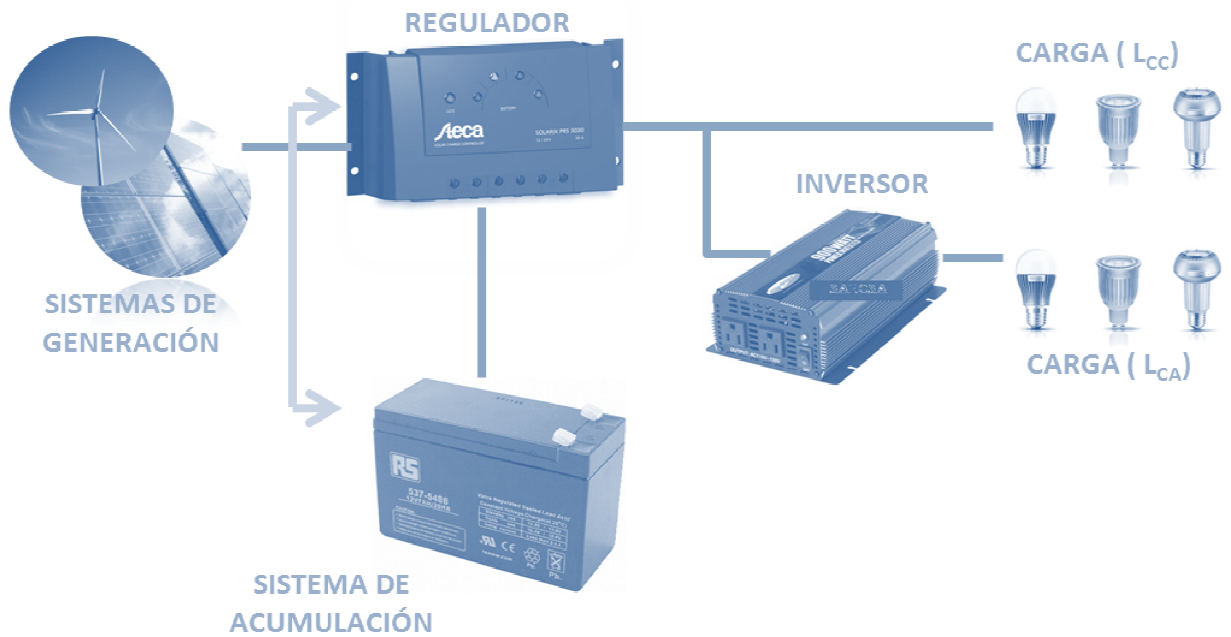
Los sistemas de almacenamiento electroquímico de energía funcionan de forma similar a una pila eléctrica recargable común pero a una escala mucho más grande.

Un sistema inteligente de gestión de carga es el que controla las baterías. Este sistema admite la introducción de energía solar o eólica a la red pública solamente cuando se asegura el suministro al sistema de almacenamiento a la vivienda / edificio al que abastece.

La variación de la radiación solar o el recurso de viento hacen que sea necesaria la utilización de acumuladores de energía. Los acumuladores avalan que el sistema funcione en situaciones desfavorables.

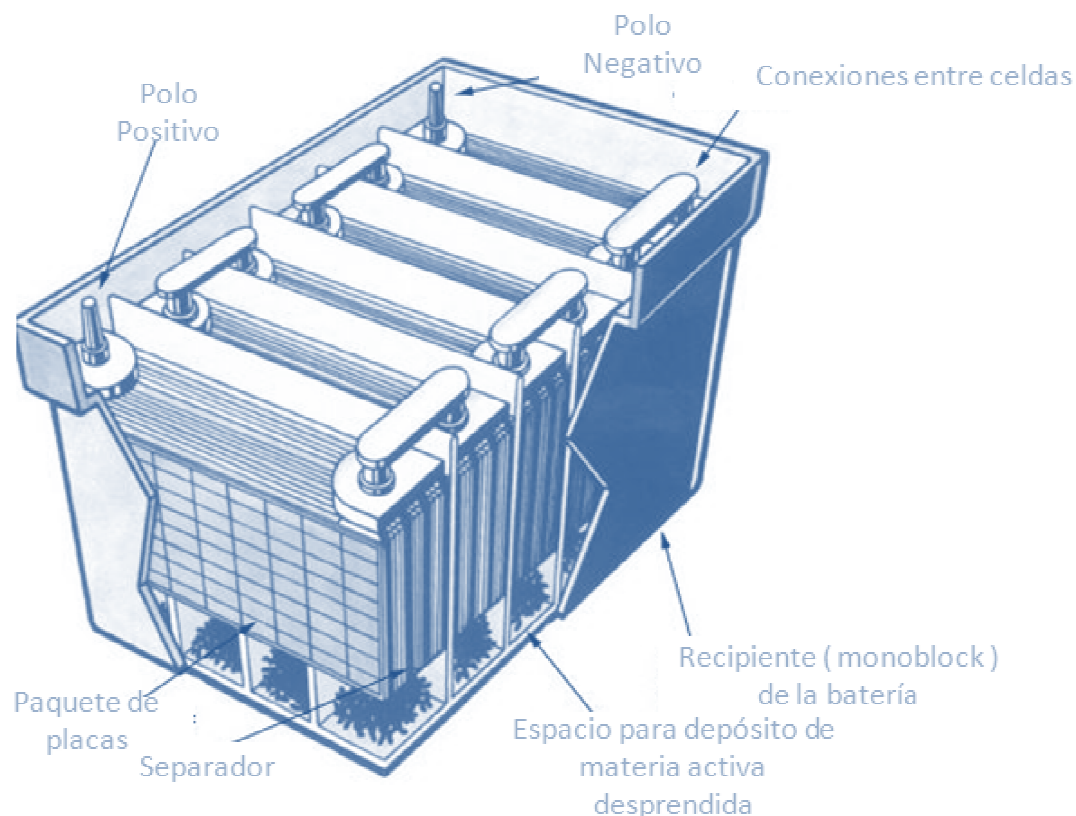
Con baterías de plomo-ácido tiene lugar la acumulación en forma de energía electroquímica.

Este tipo de baterías son llamadas “baterías secundarias” y se caracterizan porque son recargables.



La batería de plomo-ácido está compuesta por un electrodo positivo de dióxido de plomo (PbO₂) y el electrodo negativo por plomo metálico (Pb).

Los electrodos están sumergidos en una disolución de ácido sulfúrico que debe tener una densidad nominal de 1.24 g / cm³. El voltaje nominal de la celda es de 2 V.



Fuente: Techno Sun

El funcionamiento de la batería plomo-ácido es el siguiente:

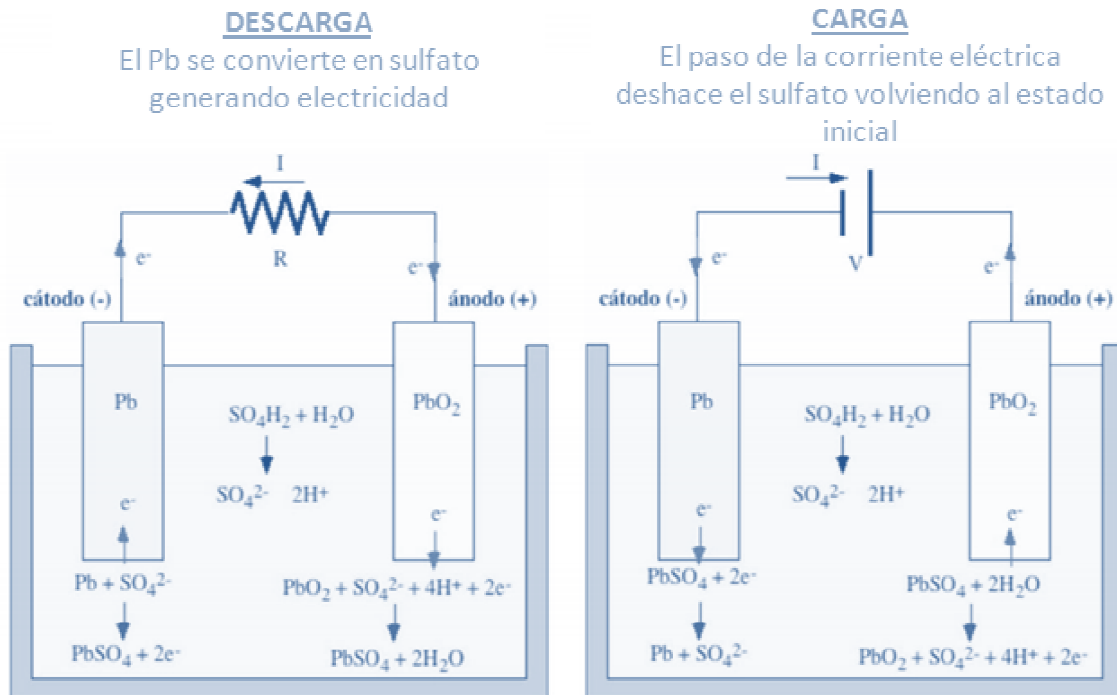
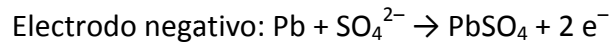
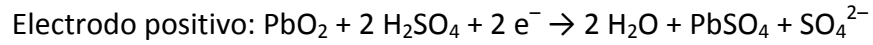
- **CARGA INICIAL:**

El sulfato de plomo es reducido a plomo metal en el cátodo (polo negativo), mientras que en el ánodo se forma óxido de plomo (PbO_2).

No se libera hidrógeno, ya que la reducción de los protones a hidrógeno elemental está cinéticamente impedida en una superficie de plomo, característica favorable que se refuerza incorporando a los electrodos pequeñas cantidades de plata. El desprendimiento de hidrógeno provocaría la lenta degradación del electrodo.

- **DESCARGA:**

Se invierten los procesos de la carga. El óxido de plomo ,cátodo, es reducido a sulfato de plomo , mientras que el plomo es oxidado en el ánodo para dar sulfato de plomo . Los electrones intercambiados se aprovechan en forma de corriente eléctrica por un circuito externo.



Las ventajas y desventajas a destacar frente a otros sistemas de almacenamiento son las siguientes:

VENTAJAS

- Bajo coste.
- Gran disponibilidad.
- Numero alto de ciclos de vida.
- Rendimiento moderado.
- Bajo nivel de auto descarga.
- Menos consumo de electricidad procedente de la red pública. Hasta el 60 % de la energía producida total puede ser auto consumida de la propia instalación.
- Los propietarios de las instalaciones fotovoltaicas o eólicas podrán usar su electricidad en días nublados o durante la noche.

INCONVENIENTES

- Deterioro ante descargas profundas.
- Mantenimiento.
- Deterioro ante sobrecargas.

Las baterías se diseñan para que soporten los dos tipos de carga y descarga:

- **CICLO DIARIO SUPERFICIAL**
Ciclo de carga y descarga entre el día y la noche. La profundidad de descarga no tiene que superar el 15 – 20 %
- **CICLO ESTACIONAL**
Periodo de varios días sin sol (invierno, nublado). La profundidad de descarga no puede superar el 70 – 80 %.

4.3. Sistema de sales fundidas

El sistema de sales fundidas es aplicado a centrales térmicas solares. Para su funcionamiento serían imprescindibles los siguientes elementos:

- Campo solar
- Sistema de almacenamiento
- Ciclo de vapor

Los objetivos a cumplir por la tecnología de sales fundidas serían los que se muestran a continuación:

Convertir la energía solar en energía eléctrica con las siguientes condiciones:

- Estar formado por colectores cilíndrico parabólicos para recoger el máximo de radiación durante el día.

Los colectores concentran la radiación sobre tubos absorbentes calentando fluidos térmicos que a su vez se envían a un generador de vapor para producir electricidad o a un sistema de almacenamiento térmico que se puede usar posteriormente.

En el sistema de almacenamiento está lo excepcional, ya que se podrían almacenar unas 1010 MWht térmicas, lo que implica que una planta de estas características puede funcionar durante una noche a carga plena durante 8 horas seguidas.

Gran ventaja de las sales fundidas:

Gran eficiencia térmica → Pueden almacenarse mucho tiempo antes de utilizarlas para producir electricidad.

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO:

El sistema de almacenamiento está formado por dos tanques, uno frío con una temperatura mínima de 292 °C para que se evite la solidificación de las sales y otro caliente a 386 °C calentado con HTF que proviene del campo solar.

Los tanques tienen un tamaño aproximado de 28,5 toneladas de sales fundidas de la siguiente mezcla:

60% de Nitrato de Sodio (NaNO_3) + 40 % Nitrato de Potasio (KNO_3)

Los tanques tienen un sistema de bombeo entre ellos en los que hay un intercambio entre el fluido térmico y las sales. Además hay un sistema de protección anticongelante.

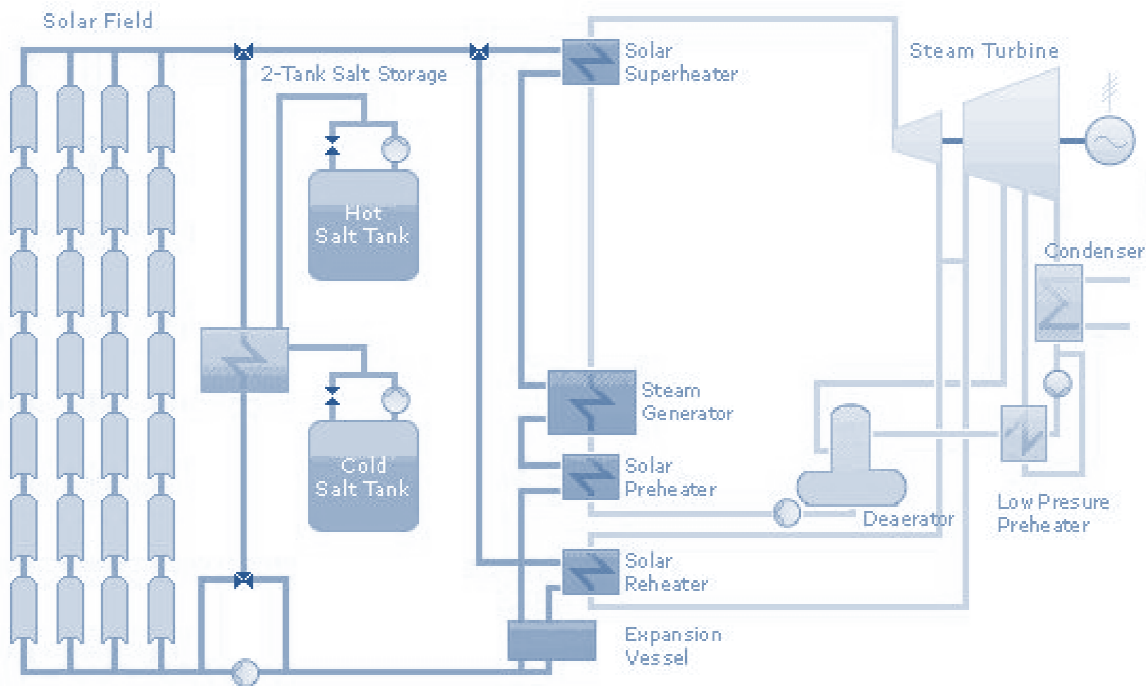
En las sales no hay cambio de fase a las temperaturas en las que se trabaja, por lo que tienen un alto coeficiente de transferencia térmica: 0.6 – 1.2 MW/m². Además tienen una capacidad muy alta de almacenamiento térmico ya que su punto de fusión está entre 220 °C y 250 °C.

FUNCIONAMIENTO DURANTE EL DÍA:

Parte del flujo térmico traspasa los intercambiadores Sales – Fluido y transfiere el calor a las sales del tanque de almacenamiento que están frías en ese instante.

FUNCIONAMIENTO DURANTE LA NOCHE:

Las sales que han calentado durante el día son depositadas en el tanque de sales fundidas y se vuelven a bombear al tanque de almacenamiento de sales frías para transferir su calor al fluido térmico. Así permite que el sistema genere electricidad funcionando a máxima carga.



Fuente: Opex Energy

Estos sistemas consisten en un receptor solar que puede ser de panel de tubos o de película descendente donde las sales son calentadas desde 288 °C hasta 566 °C.

El proceso del esquema de principio es el siguiente:

1. Las sales fundidas se calientan en la torre, luego se bombean al tanque de almacenamiento.
2. Las sales calientes se hacen pasar a través de un generador de vapor.
3. El vapor se usa para accionar una turbina eléctrica.
4. Las sales enfriadas se almacenan en un segundo tanque para ser devueltas al ciclo.

Cabe destacar que las propiedades de las sales permiten usar receptores de película en placa abierta a la atmósfera (receptor RAS).

Las principales características del sistema de almacenamiento de sales fundidas son las siguientes:

- Intercambiadores, válvulas y tuberías tienen un trazado eléctrico para que se evite la congelación de las sales.
- Los tanques tienen resistencias en la zona centro y el suelo.
- Si tiene lugar una parada de tiempo largo, existe un sistema de recirculación de sales en el tanque frío para que se evite su estratificación.
- Los tanques contienen nitrógeno para que se evite que el oxígeno entre en contacto con el HTF en caso de fuga.
- Depósito de drenajes. Acumula los drenajes de tuberías e intercambiadores y los devuelve al tanque frío.

ELEMENTOS SISTEMA DE SALES FUNDIDAS

- ALMACENAMIENTO SALES FRÍAS
 - Tanque almacenamiento
 - Calentadores eléctricos
 - Bombas de almacenamiento de sales frías con variadores de velocidad y motores eléctricos.
- INTERCAMBIADORES DE CALOR PARA SALES FUNDIDAS

El tren de intercambio está en serie del tanque frío al caliente. Por los tubos circula el HTF y las sales fundidas por la carcasa.

Para evitar que las sales se congelen, las tuberías llevan un trazado eléctrico.

- ALMACENAMIENTO DE SALES CALIENTES

- Tanque de almacenamiento de sales calientes
- Calentadores eléctricos dentro del tanque
- Bombas de almacenaje de sales calientes con variadores de velocidad y motores eléctricos.

- SISTEMA DE DRENAJES

- Recipiente de drenaje. Vacía las tuberías y los intercambiadores.
- Bomba de drenaje. Devuelve las sales al tanque de sales frías.
- Sistema de detección de fugas y condensación del HTF. Una vez detectado separa el HTF del circuito de las sales y seguidamente identifica el punto de la fuga.

4.4. Hidrobombeo

El agua almacenada a una altura determinada tiene una energía potencial almacenada. Cuando el agua cae se puede utilizar para mover turbinas hidráulicas y convertir la energía potencial en trabajo mecánico. Este trabajo sería transformado en electricidad en un generador eléctrico. La electricidad se inyectará en la red en horas punta. En horas valle el exceso de electricidad se utilizará para bombear el agua desde el depósito inferior al superior ubicado a más altura.

Principalmente lo que hay que buscar son embalses ubicados a distinta cota y que exista la posibilidad de ser conectados por tuberías en las que se intercala la bomba para consumir electricidad y la turbina hidráulica para producir electricidad.

El almacenamiento de energía con sistemas de hidrobombeo está probado y no es una gran innovación pero sin embargo combinado con fuentes de energía renovables (solar o eólica) permitirá que se maximice la intrusión de estas fuentes en los débiles sistemas eléctricos insulares.

SUBSISTEMAS DE UN SISTEMA DE HIDROBOMBEO

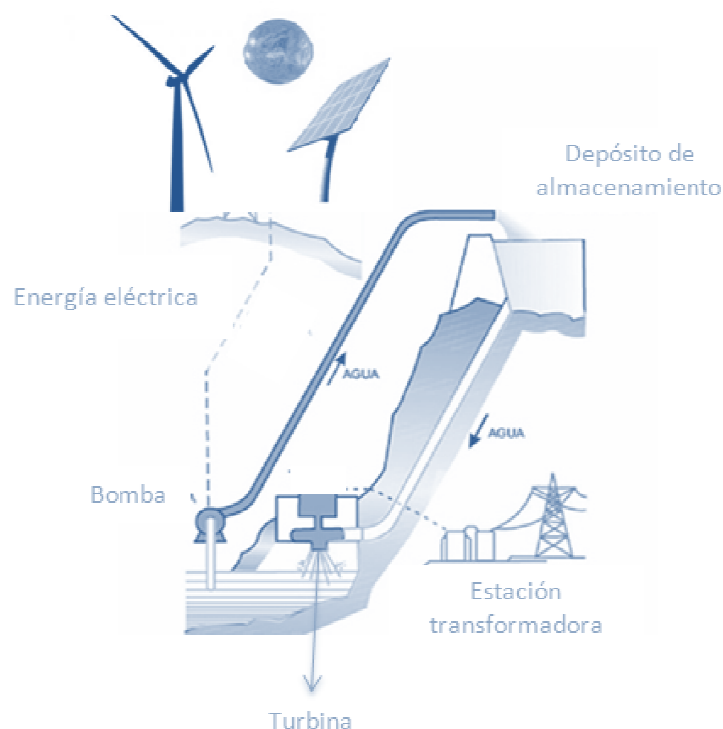
- Depósitos de agua → Almacenamiento energía potencial.
- Turbinas que convierten energía potencial en eléctrica → Generación.
- Bombas que convierten energía eléctrica en potencial → Bombeo.

ESTUDIO PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE HIDROBOMBEO

- Estudio del recurso Energías renovables (EERR)
- Estudio de capacidad de almacenamiento e infraestructuras existentes (embalses, presas,...)
- Estudio energético.
- Estudio dimensionamiento de infraestructuras
- Estudio de impacto medioambiental
- Estudio de red

El estudio del viento y la radiación solar (recursos energéticos renovables) se necesitan para realizar una evaluación del potencial de producción eléctrica de las EERR y además para dimensionar el sistema de hidrobombeo.

Los sistemas de hidrobombeo absorben y almacenan los excedentes de energía eléctrica que proviene de la energía solar o eólica que no se usa para cubrir todas las demandas (horas valle). Por ello es de vital importancia que se conozca el potencial de producción en instalaciones fotovoltaicas o eólicas para hacer una estimación del exceso de energía.



4.5. Supercondensadores

Los condensadores almacenan la energía en forma de carga eléctrica. Sin embargo las pilas o baterías la almacenan en forma química.

Los supercondensadores son similares a los condensadores con la diferencia que poseen una capacidad superior para almacenar electricidad en un lugar reducido.

Son perfectos en aplicaciones para las que sea necesario almacenar energía eléctrica en cantidades muy grandes. Además son capaces de liberarla de manera muy rápida como en un condensador.

Su mayor particularidad son las propiedades del nuevo material utilizado que se basa en el grafeno ya que tiene mucha mayor capacidad para almacenar electricidad.

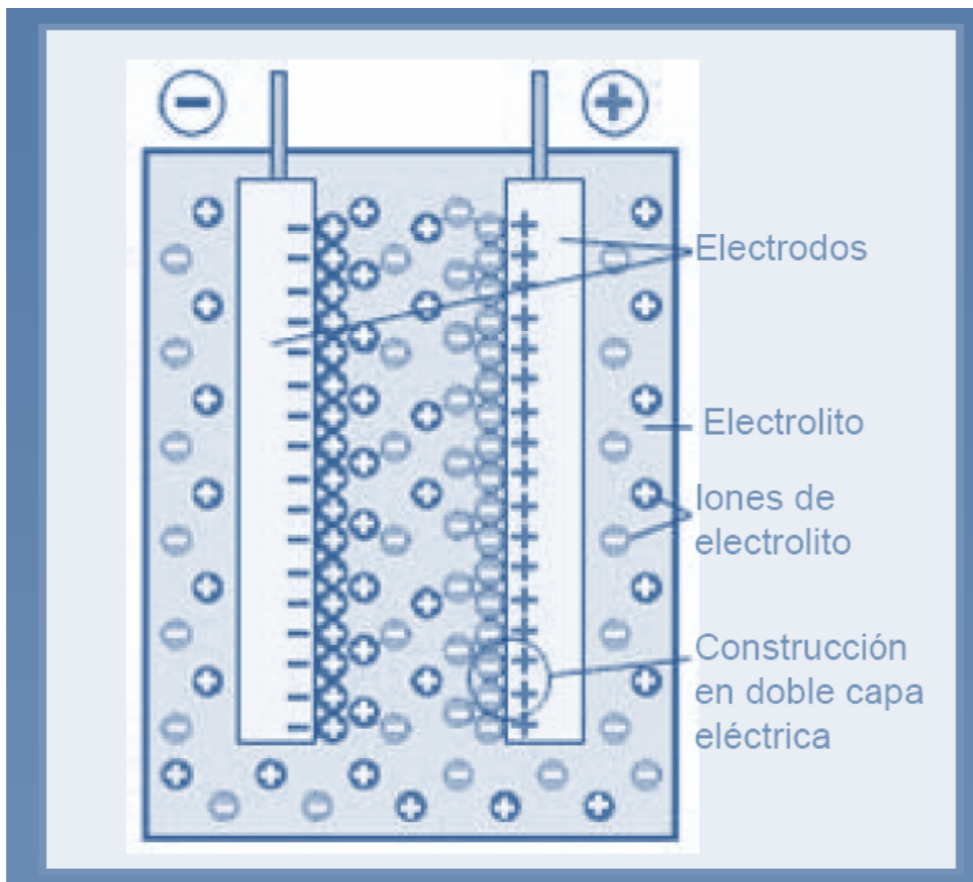
El grafeno está formado por una capa monoatómica de átomos de carbono. Sus propiedades eléctricas son muy especiales y por su ratio de superficie por peso es un gran candidato para la fabricación de supercondensadores.

Los supercondensadores fabricados con este material son perfectos para:

- Abastecer energía a automóviles eléctricos.
- Igualar el suministro eléctrico aportado por fuentes de energía solar o eólica.

Los supercondensadores, cuyo esquema constitutivo puede verse en la siguiente figura, son fuentes de energía continua que deben estar interconectados a la red eléctrica con un acondicionador estático de potencia.

Un supercondensador suministra potencia durante interrupciones breves y huecos de tensión, aunque durante periodos de tiempo muy cortos.



Generalmente los supercondensadores están compuestos por dos electrodos de material electro activo unidos a las placas del condensador que se separan por una membrana y están sumergidos en un electrolito.

Se puede utilizar CNT (Nano Tubos de Carbono) ya que con su estructura de pocos nanómetros de diámetro aumenta la capacidad de carga al tener mayor superficie específica.

Los supercondensadores tienen un gran rendimiento, una elevada potencia específica (5 kW/ kg), alta energía específica (4 kWh/kg) y un tiempo de carga corto.

Como son procesos que no son dependientes de reacciones químicas, no hay un efecto memoria, por lo que pueden ser cargados y descargados gran cantidad de veces.

La principal diferencia con respecto a los condensadores normales, radica en que los supercondensadores almacenan la energía en un estrato de líquido polarizado ubicado entre un electrolito y el electrodo. Como la capacidad es proporcional a la superficie de las placas de los electrodos, han surgido mejoras en lo que a esta superficie se refiere, empleando materiales altamente porosos. Una gran variedad de soluciones electrolíticas y de tratamientos superficiales se están investigando actualmente.

4.6. Baterías de flujo REDOX

Dentro de las diferentes tecnologías y dispositivos de almacenamiento electroquímico de energía las baterías de flujo tienen un gran potencial para la integración en plantas fotovoltaicas y parques eólicos.

Son capaces de almacenar grandes cantidades de energía que superan a otras baterías. Además tienen una flexibilidad que permite que se obtenga electricidad a partir de energía almacenada en su interior en cualquier momento.

Los electrolitos tienen pares redox en muy altas concentraciones y son recirculados desde tanques de almacenamiento hacia el interior del reactor electroquímico a través de bombas. Allí se transforman en una especie u otra dependiendo si el ciclo es de carga o no (almacena o libera energía).

Las baterías de flujo redox no necesitan prácticamente un mantenimiento durante la vida útil y además les caracteriza que pueden trabajar en condiciones de carga y descarga profunda. Esta gran característica implica que son capaces de suministrar energía eléctrica durante horas en caso de apagón o parada de la planta.

CARACTERÍSTICAS

- Almacenamiento de energía electroquímica mediante reacciones de oxidación reducción.
- La energía almacenada depende del volumen de electrolito.
- La potencia disponible depende del diseño y tamaño del stack.

La batería de flujo funciona con un elemento electro activo (vanadio) ya que puede encontrarse en 4 estados de oxidación diferente cuando está en disolución:

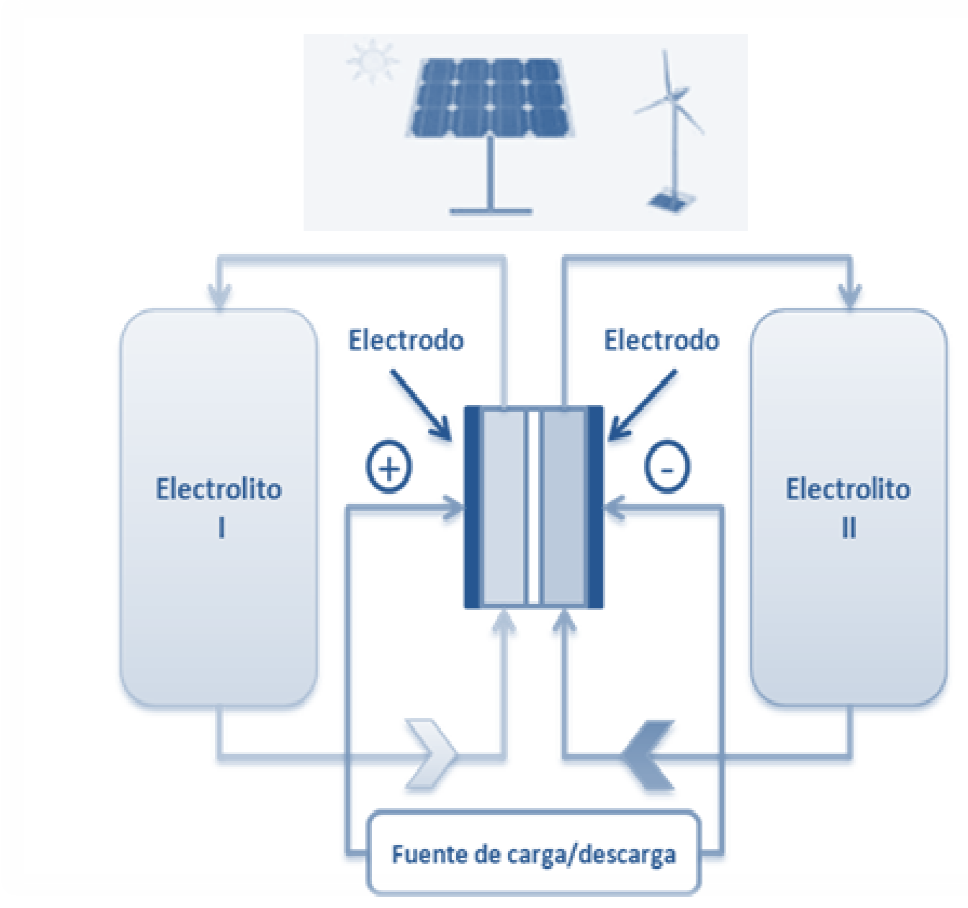
- Vanadilo (VO^{2+})
- Dioxovanadilo (VO_2^+)
- Vanadio (II)
- Vanadio (III)

Se utilizan dos electrolitos, cada uno contiene un par redox. Los dos electrolitos se almacenan en tanques y se bombean a través de tuberías de PVC hasta un stack de celdas que se compone por:

- Membranas de intercambio protónico.
- Electrodo de fieltro de grafito.

DESCARGA DE LA BATERÍA

El siguiente esquema sólo está compuesto por una celda. En realidad serían stacks compuestos por varias celdas conteniendo cada una dos semi celdas que se separan por una membrana de intercambio protónico. Cada una de las celdas suministra 1.26 V a 25 °C.

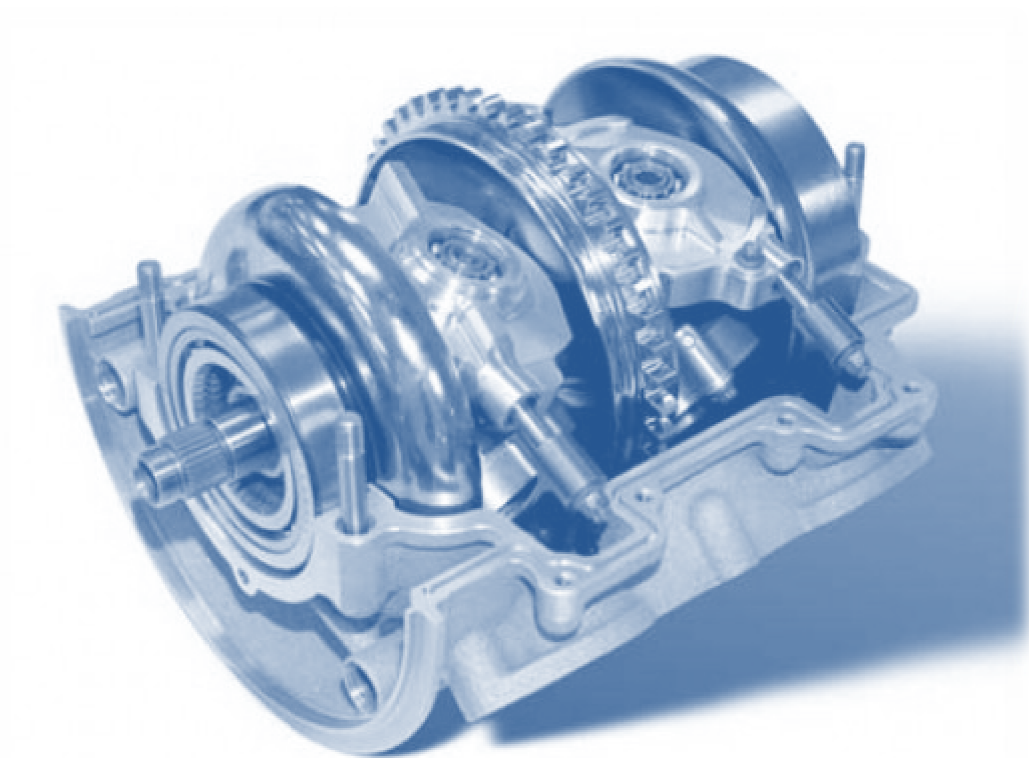


Fuente: Madrimasd

VENTAJAS

- Nivel de potencia y nivel de energía están desligados.
- El sistema puede rellenarse y los electrolitos pueden ser reemplazados con facilidad.
- Rápida respuesta.
- La eficiencia del ciclo completo de esta batería es del 75-80%
- El sistema no tiene ninguna auto descarga.
- La gestión activa del calor es más fiable.
- El proceso industrial que conlleva es estable, energéticamente eficiente, limpio y no peligroso.

El proceso consiste en almacenar energía en un volante que sea capaz de girar a un elevado régimen dentro de un recinto vacío que impida la resistencia aerodinámica. El sistema empleado es de cojinetes magnéticos. Consiguen un gran rendimiento de operación (80 %). El intercambio de energía puede ser por medio de un tren de engranajes o electromagnético.



CARÁCTERÍSTICAS

- La energía es almacenada en una rueda que gira. La energía cinética es función de la masa y el cuadrado de la velocidad.

$$E = I \cdot \omega^2 / 2$$

- El límite de la energía almacenada depende de la resistencia mecánica del material.
- La tenacidad del motor limita la velocidad.
- La energía almacenada es proporcional al volumen y al esfuerzo elástico →
Materiales de densidad baja
- Almacenamiento de energía mecánica en forma de energía cinética

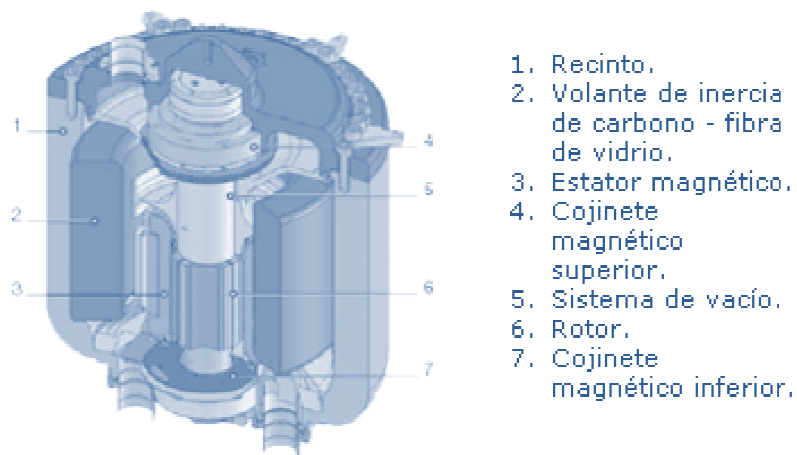
Material	Esfuerzo (10 ⁶ kg/m ²)	Densidad (kg/m ³)	E _{max} (Wh/kg)
Acero tratado	281	8.000	55
Vidrio E	337	2.500	190
PPRD-49	359	1.500	350
Sílice fundido	1.406	2.100	870

ELEMENTOS

- Rotor
- Sistema de guiado
- Motor / generador
- Unidad de conversión
- Carcasa

VENTAJAS

- Mayor fiabilidad que las baterías
- Coste inicial mayor pero el coste de operación y mantenimiento es menor
- Aumento de la vida útil.
- Coste menor por ciclo
- Densidad de potencia mayor a las baterías
- Impacto medioambiental menor
- Fácil diagnóstico de estado



Fuente: Remar – Red de Energía y Medio Ambiente

4.8. Nanotubos de carbono

El nuevo desarrollo de un dispositivo compuesto por nanotubos de carbono permite almacenar la misma cantidad de energía que las baterías de ion-litio.

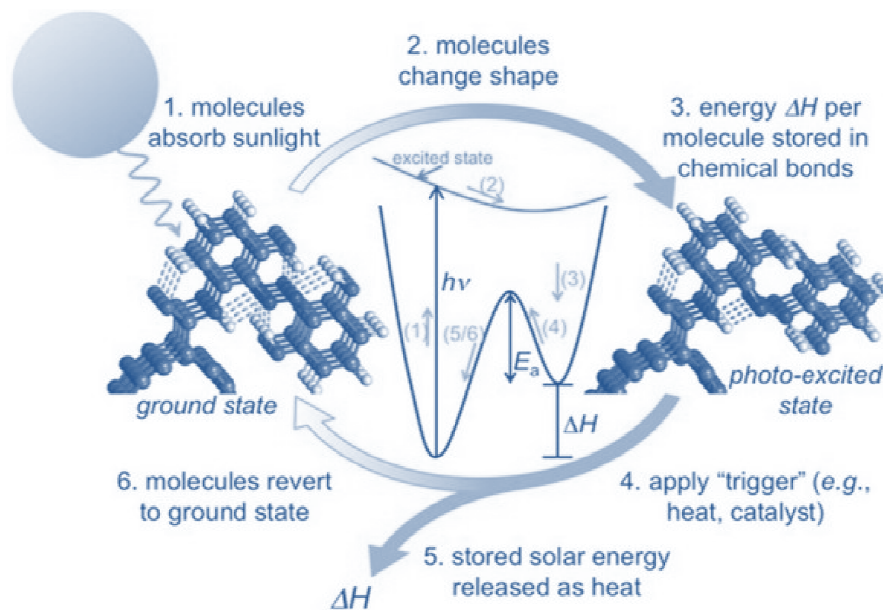
La diferencia principal a tener en cuenta es que se recarga con la luz solar y la convierte en energía química que es devuelta como electricidad cuando es sometida a un catalizador apropiado.

La característica más novedosa del dispositivo es que está construido con nanotubos de carbono (CNT – Nanotubos de carbono) y puede convertir y almacenar tanto luz solar como energía química. Realmente el dispositivo se comporta como una batería cuyo cargador es ella misma.

El dispositivo almacena energía solar durante un tiempo no definido. La libera, cuando es necesario, en forma de calor que puede convertirse de forma eventual en electricidad.

Los nanotubos de carbono se han combinado con un compuesto llamado azobenceno que presenta magníficas propiedades entre las que destacan una densidad volumétrica de energía de hasta 10.000 veces mayor que los dispositivos de ión - litio. También cabe destacar que son mucho más baratos, fáciles de fabricar, sólidos y no se degradan con el uso.

Su funcionamiento se basa en que al impactar contra las moléculas del dispositivo, la luz solar cambia de estructura molecular y adopta una configuración estable. Cuando se aplica un estímulo externamente como un catalizador (luz o calor), las moléculas regresan a su estado original y así devuelven en forma de calor la energía que habían almacenado.



Fuente: Grossman/Kolpak

Las células solares aprovechan el efecto fotoeléctrico para convertir la radiación óptica en corriente eléctrica continua. Es decir, al incidir un fotón en un diodo semiconductor, existen electrones que absorben la energía y son capaces de generar electrones libres por superar la banda energética prohibida del material. Así mismo generan corriente eléctrica.

Uno de los problemas actuales de las células solares es que la eficiencia que presentan no es elevada: son muy dependientes del silicio y por tanto del precio del mismo.

En este punto entra en juego la participación de los nanotubos de carbono (CNT).

APLICACIÓN DOBLE DE LOS CNT

- Los CNT pueden ser el material semiconductor que puede generar corriente al ser excitados por la luz solar con una longitud de onda apropiada.
- Mejorar y facilitar el tránsito de las cargas generadas hasta la superficie del electrodo aprovechando su alta conductividad.

4.9. Pila de hidrógeno

Una manera de almacenar energía eléctrica que se genera en un parque eólico o en una instalación fotovoltaica es su transformación en hidrógeno.

La energía eléctrica se deriva a un electrolizador (dispositivo en el que se disocia el agua en oxígeno e hidrógeno según la reacción $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$).

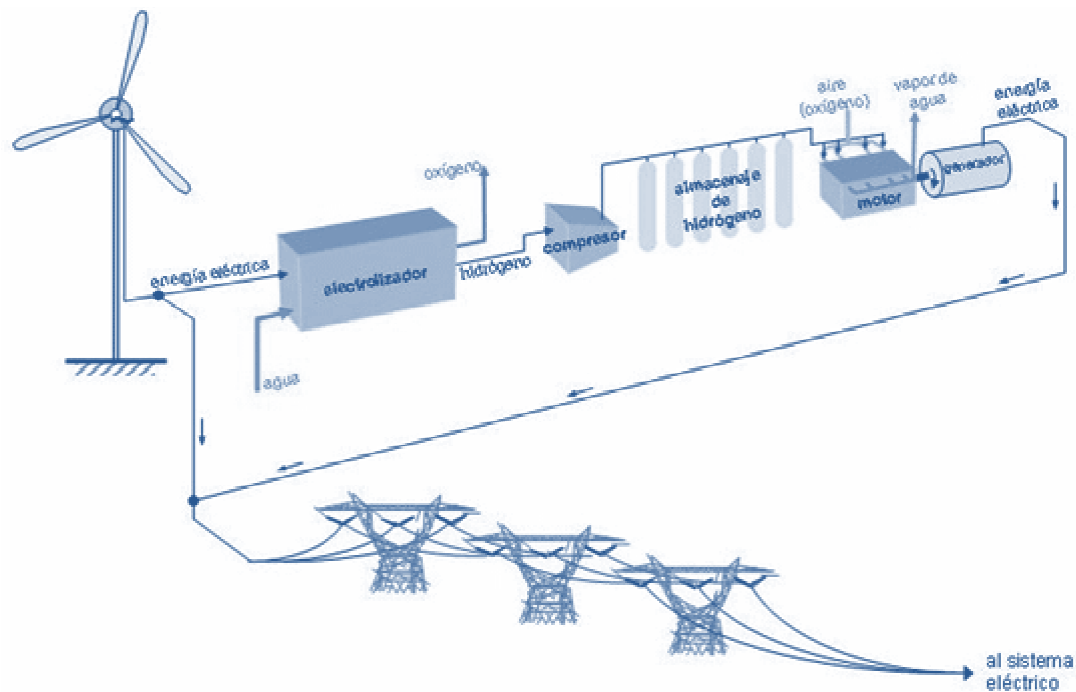
El H_2 que se obtiene es comprimido para que su almacenamiento sea más fácil, y el O_2 se libera a la atmósfera.

El H_2 se almacena en recipientes a presión hasta el momento de generar energía eléctrica cuando hay demanda.

El H_2 se utiliza como carburante de un grupo de generación eléctrica en el que el motor es parecido a los de gas natural pero adaptado al hidrógeno. El motor se encarga de aspirar aire de la atmósfera cuyo oxígeno (provocado por la chispa de las bujías) reacciona con el H_2 de los cilindros.

Cuando tiene lugar la combustión del $\text{H}_2 + \text{O}_2$ se libera agua en un proceso inverso al producido en el electrolizador.

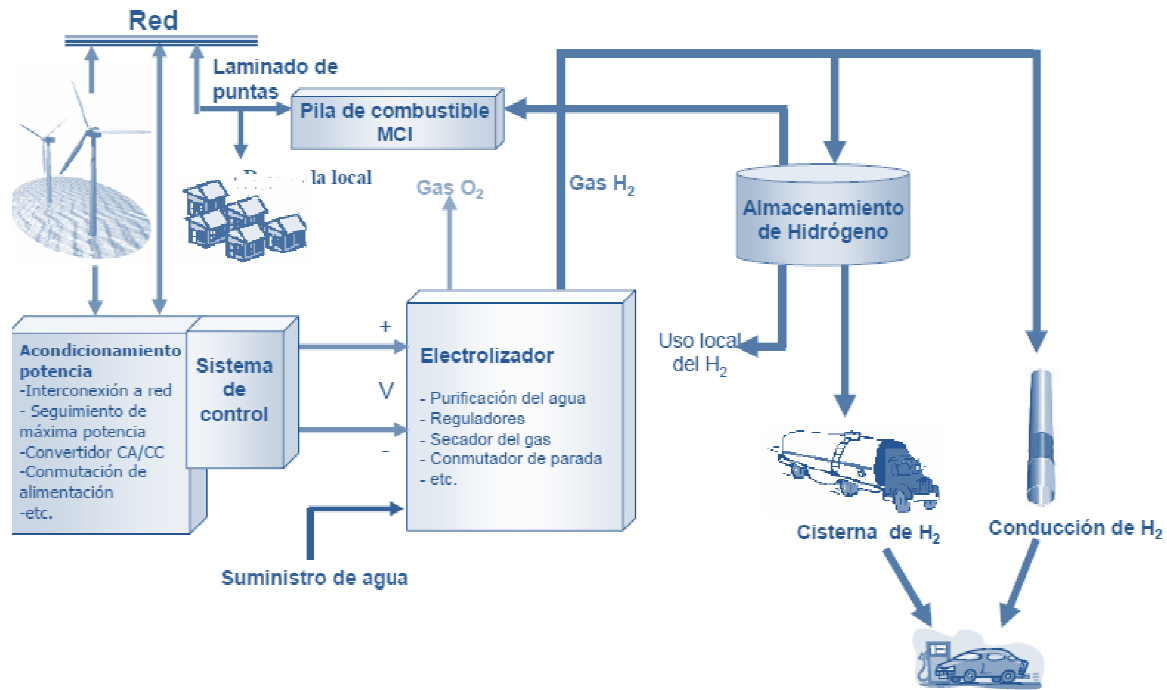
El cigüeñal del motor arrastra un generador que se encarga de producir energía eléctrica entregada a la red.



Fuente: Parque Eólico Experimental Sotavento

APLICACIONES

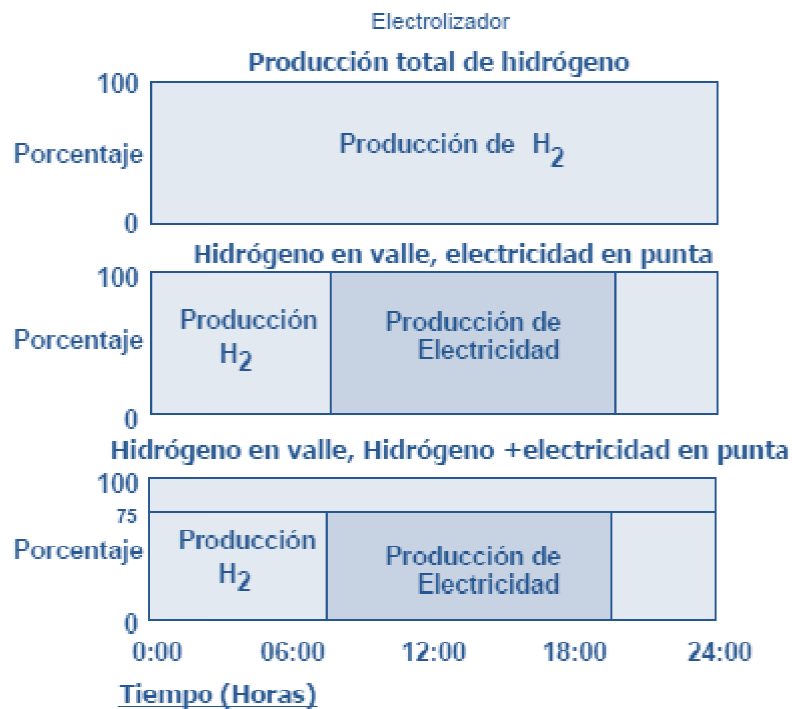
- Almacenamiento que evita fluctuaciones de potencia eólica a corto plazo.
- Almacenamiento que evita el lucro de sobre generación de energía a medio plazo.
- Almacenamiento que ofrece energía eólica garantizada a largo plazo.
- La producción directa de hidrógeno a partir de la energía eólica con la inyección en una tubería específica o de gas natural.
- Autoconsumo.



Fuente: GE

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA EÓLICO – HIDRÓGENO CONECTADO A LA RED

- Producción total de hidrógeno
- Producción de hidrógeno en horas valle de demanda: Sólo se produce H₂ en las horas de baja demanda de electricidad, en el momento en que el precio de la electricidad es bajo.
- Producción total de hidrógeno con excepción en hora punta de demanda: producción de H₂ durante las 24 horas del día pero disminuyendo durante los períodos de más demanda de electricidad.



TECNOLOGÍA ACTUAL DE LOS ELECTROLIZADORES

- Eficiencia 60 -70 % (LHV)
- Temperatura de operación de hasta 80 C
- Presión de operación: 1 bar – 25 bar
- Coste específico: 1000\$/kw – 2500\$/kw

TECNOLOGÍA FUTURA DE LOS ELECTROLIZADORES

Existe un aumento de capacidad, eficiencia y reducción de costes

- Eficiencia alcanzable de 70 – 80 % (LHV)
- Electrolizador de tamaño industrial (Rango de MW)
- El coste se reduce a 300\$/KW – 500\$/Kw (coste de H2 a 1,43 €/kg)
- Integración con varias energías renovables (solar FV, eólica, geotérmica, ...)

ALMACENAMIENTO

TECNOLOGÍA ACTUAL

PROCESOS DE COMPRESIÓN

- Mucho consumo de energía con pérdidas de 15 – 30 %
- Alto coste específico para almacenar a gran escala (1000 – 2000 \$ / kW)
- Presión de 200 – 350 bar

PROCESOS DE LICUEFACCIÓN

- Alto consumo de energía con pérdidas de 40 – 50 %
- Costes específicos grandes: 1500-2500 \$ / kW

ALMACENAMIENTO EN FASE GAS A PRESIÓN

- Alta demanda de espacio para almacenamiento de gran capacidad.

ALMACENAMIENTO EN FASE LÍQUIDA

- Boil-off: 0,1 – 0,3 %

TECNOLOGÍAS AVANZADAS

- Baja presión en fase sólida → hidruros metálicos, hidratos químicos
- Capacidad grande: tanque enterrado
- Coste bajo: diseño del sistema de almacenamiento, diseño de procesos de licuefacción y compresión

VENTAJAS

- Contaminación nula o muy baja
- Eficiencia alta
- A largo plazo, bajo coste
- Cogeneración de electricidad y calor
- Producción de energía descentralizada
- Fácil de integrar con energías renovables

INCONVENIENTES

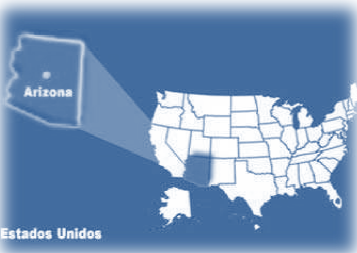
- Fiabilidad
- Coste
- Vida útil

PROYECTOS

5. PROYECTOS

En España se están construyendo y poniendo en marcha una gran cantidad de proyectos de envergadura, que apuestan por la innovación en el almacenamiento de la energía eólica y solar. Es de vital importancia que la Comunidad Autónoma de Castilla y León persista en la investigación e innovación de este tipo de tecnologías consciente del futuro de proyectos relacionados con el almacenamiento energético que contribuirán a la economía regional.

A continuación se citan importantes proyectos regionales, nacionales e internacionales:



Detrás del proyecto CAES de la Universidad de Arizona está presente la empresa PG&E (Pacific Gas & Electric Company).

El grupo de I+D de CAES está enfocado al desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía que se basan en comprimir el aire y almacenarlo en tanques hechos por el hombre o en embalses naturales bajo tierra.

El equipo de la Universidad de Arizona de investigación está trabajando en varios proyectos e en los que trabajan con alta tecnología aplicada al almacenamiento de aire comprimido. Trabajan con materiales modernos y sofisticados equipos de detección remota y análisis informático.

En el sistema CAES un motor de baja velocidad utiliza parte o el total de la energía de un panel solar o un generador de viento para bombear el aire en un tanque parecido a los usados para propano u oxígeno. La energía es utilizada más tarde para alimentar un aparato, por ejemplo un refrigerador. Además este sistema podría estar vinculado a la energía de una casa.

El programa de actividades de I+D de grupos de investigación de la Comunidad de Madrid en

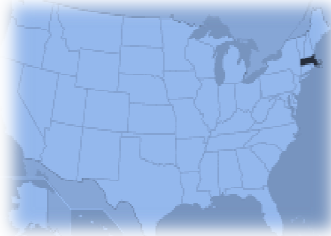


Tecnologías tiene como objetivo asentar las bases científicas y tecnológicas que permiten desarrollar nuevos sistemas de aprovechamiento térmico de la energía solar y almacenamiento energético de una forma eficiente.

La investigación se centra en la búsqueda de opciones tecnológicas para desarrollar una generación futura de centrales y sistemas termosolares que permitan abrir un gran abanico de aplicaciones a ciclos termodinámicos más eficientes.

En el proyecto SOLGEMAC principalmente se apuesta por el acoplamiento de baterías de flujo y discos Stirling en plantas solares modulares que se puedan instalar en cualquier lugar. La energía que se almacena en las baterías en los periodos de exceso de producción, asegura el suministro eléctrico durante el día y la noche.

- Participantes: IMDEA, INTA, URJC, UAM, CIEMAT, Hynergreen Technologies, S.A., Torresol Energy.
- Financiación: Comunidad de Madrid. Programa de Actividades de I+D entre Grupos de Investigación en Tecnologías.
- Periodo de realización: Enero 2010-Diciembre 2013



El MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) de Cambridge ha puesto a punto un dispositivo que es capaz de retener la misma cantidad que una batería de ion – litio. El dispositivo está formado a partir de nanotubos de carbono y es capaz de convertir y almacenar luz solar como energía química.

El grupo de investigación del MIT está liderado por dos especialistas, Jeffrey Grossman y Alexie Kolpak, que ha desarrollado además un enfoque nuevo con fulvalene diruthenium. Es una molécula conocida como la alternativa química para el almacenamiento de energía solar. Lo magnífico y destacable es que permite el desarrollo de dispositivos que no se degradan.



Dinamarca pretende dejar de depender, en un futuro no muy lejano, de combustibles fósiles. El país está buscando una forma de garantizar la producción eólica y solar a través de una isla verde de energía, que aseguraría la producción en todo momento creando vías de almacenamiento (la isla verde). La isla artificial funcionaría con bombeo de agua y así se equilibra el sistema

energético.

El proyecto de investigación se está desarrollando por un grupo de ingenieros y arquitectos daneses (Laboratorio Nacional para la Energía Sostenible de la Universidad Técnica de Dinamarca) quienes pretenden construir islas artificiales para almacenar energía.



El ITE (Instituto Tecnológico de la energía) tiene en marcha un proyecto que estudia los métodos de almacenamiento de energías renovables para la Comunidad Valenciana.

En horas valle de consumo y excedentes en producción eólica se puede llegar a perder un 1 % de la producción mensual.

El objetivo del proyecto es aprovechar los 29000 MWh que se pierden mensualmente en horas valle de consumo.

Uno de los métodos de almacenamiento contemplados es la utilización de estaciones de bombeo, en las que el excedente de potencia puede ser utilizado para bombear el agua a diferentes niveles en centrales hidráulicas.

La empresa española de ingeniería SENER ha recibido una subvención del departamento de Energía estadounidense para que participe en el desarrollo de una nueva generación de sistemas de almacenamiento térmico para centrales termosolares o solares termoeléctricas.



El proyecto denominado HELSOLAR, tiene como objetivo principal desarrollar sistemas de almacenamiento sólidos basados en la utilización de grafito, lo cual permitirá ampliar la capacidad de almacenamiento a gran cantidad de aplicaciones basadas en energía solar por concentración con costes bastante reducidos.



El proyecto TRES se basa en el desarrollo de un modelo energético en los archipiélagos de Madeira, Canarias y Azores.

El proyecto se puso en marcha en el año 2009 financiado en un 85 % por el Programa de Cooperación Transnacional 2007 – 2013 para Madeira, Canarias y Azores.

Tiene como objetivos principales potenciar las energías renovables en los tres archipiélagos y buscar soluciones para que las barreras de lejanía e insularidad sean superadas.

Se estudiarán los impactos sobre la estabilidad de las redes de diferentes alternativas de almacenamiento energético relacionadas con el hidrobombeo y todas las posibilidades de las tecnologías del hidrógeno.

El proyecto consta de 2 fases:

- Recogida de datos solares, eólicos, disponibilidad de aprovechamiento de embalses y la disponibilidad de biomasa para la creación de sistemas de hidrobombeo para almacenamiento energético. También se obtendrá información sobre los componentes de los sistemas eléctricos de las islas como grupos de generación, redes de distribución, estaciones transformadoras, etc.
- En la segunda fase se desarrollarán los modelos matemáticos que analizan la estabilidad de las redes eléctricas insulares. Además se estudiarán los modelos de predicción eólica y solar y todas las posibilidades existentes para la implantación de centrales hidroeléctricas para el almacenamiento de excedentes de energías renovables. Es también de vital importancia el estudio de los consumos energéticos y las medidas de eficiencia energética.



El proyecto de energía eólica del futuro tiene lugar en Jaulín, población zaragozana elegida por Gamesa. Se trata de un parque eólico experimental de I+D que probará el primer prototipo europeo de baterías de flujo para almacenar energía eléctrica.

Entre la variedad de tecnologías aplicables, Gamesa ha elegido las baterías de flujo basadas en almacenamiento electroquímico.

El proyecto se denomina SUSTAINERGY y tiene como socio tecnológico a la empresa Técnicas reunidas. En este año 2011 estará listo un prototipo de escala reducido que será capaz de almacenar 5 kilovatios hora. La fase de pruebas seguirá hasta finales de 2012 y se prevé su salida al mercado en el 2014.



El proyecto se ubica en las instalaciones del parque eólico experimental SOTAVENTO y consta de una planta de almacenamiento de energía eólica en la que se empleará hidrógeno.

El objetivo es la producción de hidrógeno con un electrolizador de $60 \text{ Nm}^3 / \text{h}$ de capacidad, que se alimentará con corriente eléctrica que proviene de los aerogeneradores.

El electrolizador produce hidrógeno a baja presión que es comprimido posteriormente para reducir el volumen de almacenamiento en cilindros de acero a unos 200 bar. Posteriormente para la conversión a energía eléctrica se emplea un moto generador de 60 Kw eléctricos.

Las fases del proyecto son las siguientes:

- Análisis previos y elección de equipos. Se necesita evaluar los equipos que se encuentran en el mercado del hidrógeno, además de conocer los requerimientos del agua de entrada al sistema para poder acondicionarla y que pueda ser utilizada por el electrolizador.

Dentro de esta fase están los equipos más importantes:

1. Electrolizador y sistemas de filtrado de agua
2. Equipo motogenerador de electricidad a través del hidrógeno acumulado
3. Sistemas de almacenamiento de hidrógeno

- Desarrollo del proyecto en función de los equipos.
- Ejecución de obra civil. Línea eléctrica, abastecimiento de agua, línea de comunicaciones.

- Instalación de elementos y puesta en marcha.
- Evaluación del sistema aplicando estados. Se evalúa y se simula el sistema para que sea empleado en las siguientes condiciones:
 1. Absorber energía eólica en momentos de una generación grande y entregar la energía con vientos bajos.
 2. Gestión de generación del parque para minimizar los desvíos en la predicción de la generación.
 3. Acumular la energía en el momento de restricciones técnicas del sistema de distribución (capacidad de evacuación insuficiente, cortes de tensión)

Gemasolar es la **primera planta** en el mundo que aplica la tecnología de **receptor de torre central y almacenamiento térmico en sales fundidas**. Esta planta tiene la singularidad en la generación eléctrica termosolar.

Las principales características de Gemasolar son las siguientes:

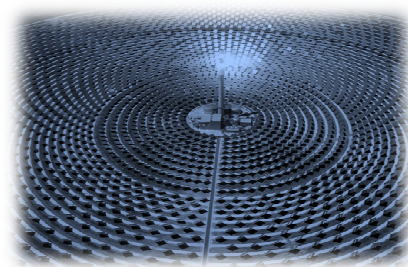
- Potencia eléctrica nominal: **19,9 MW**
- Producción eléctrica neta esperada: **110 GWh/ año**
- Campo solar: con **2.650 heliostatos** en 185 hectáreas
- Sistema de almacenamiento térmico: el tanque de almacenamiento de sales calientes permite una autonomía de generación eléctrica de **hasta 15 horas sin aporte solar**.

La producción de Gemasolar es superior a otras instalaciones con otras tecnologías, ya que cuando la radiación solar no existe, el tiempo de funcionamiento de la planta se prolonga y además es muy notable la mejora de la eficiencia en el uso del calor del sol.

La planta asegura una producción eléctrica durante 6500 horas/año. Gracias a esta eficiencia la planta suministrará energía segura y limpia a 25.000 hogares y se reducirán 30.000 toneladas al año en emisiones de CO₂.

La tecnología de la torre central incorpora un sistema de almacenamiento térmico en sales fundidas que permite que la producción de electricidad tenga lugar en ausencia de radiación solar.

De este modo, Gemasolar tiene la capacidad de producir energía eléctrica 24 horas al día durante muchos meses del año.



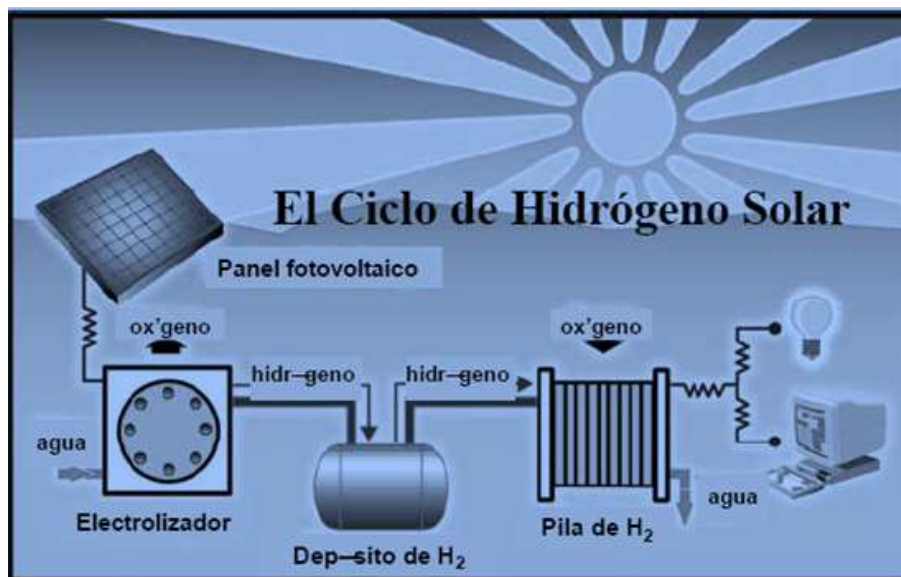


El proyecto Hydrosolar 21 se ha llevado a cabo en Burgos coordinado por la Asociación Plan Estratégico de Burgos y con la participación del Instituto de la Construcción, Ayuntamiento de Burgos, CEEI Burgos e investigadores de la Universidad de Burgos.

Entre sus objetivos más destacados están la producción y almacenamiento de energía en forma de hidrógeno y la producción de frío solar.

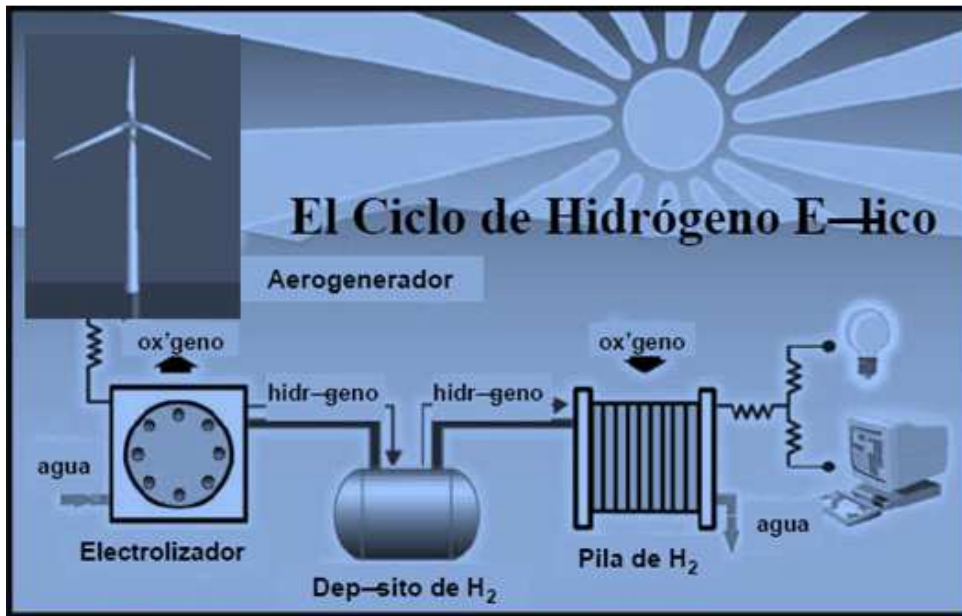
En el proyecto HYDROSOLAR 21 el hidrógeno se produce por electrólisis del agua, utilizando como fuente de energía dos formas diferentes de energías renovables: la fotovoltaica y la eólica.

A continuación se muestran dos figuras que muestran el proceso mediante el que se obtiene y consume el hidrógeno a partir de las células fotovoltaicas y el proceso a partir de aerogeneradores.



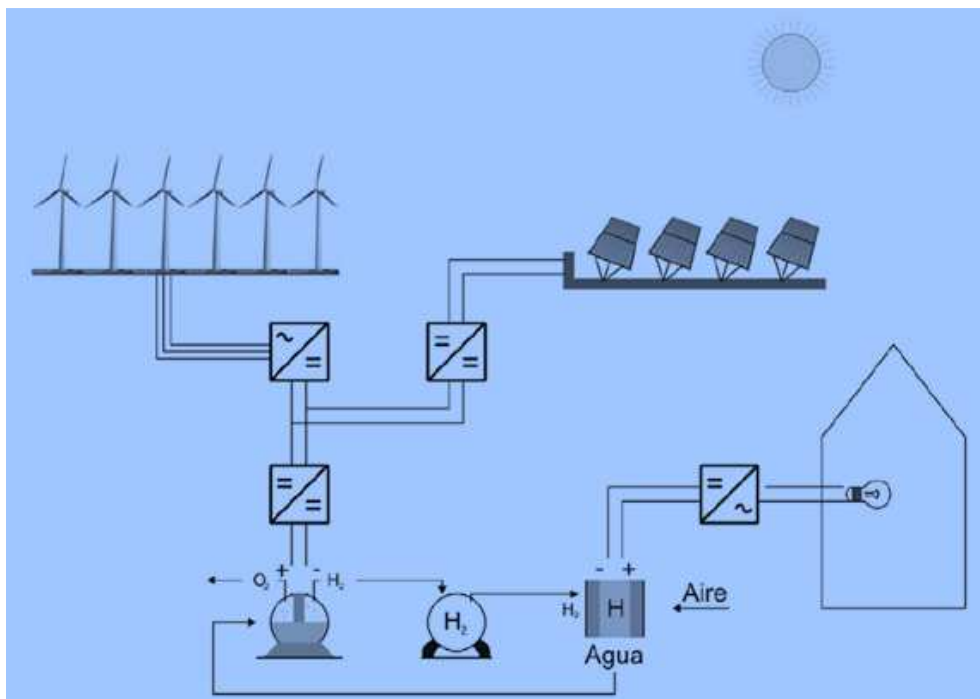
Producción de hidrógeno mediante energía fotovoltaica

Fuente: Hydrosolar21



Producción de hidrógeno mediante energía eólica

Fuente: Hydrosolar21



Sistema de conversión almacenamiento y consumo de hidrogeno.

Fuente: Hydrosolar21

Hydrosolar21 está cofinanciado por el Programa LIFE de la Unión Europea con un presupuesto inicial de 3 millones de euros.

El proyecto cuenta con dos líneas a seguir: la utilización de energía eólica y fotovoltaica para la producción de hidrógeno por electrólisis y su almacenamiento como fuente de energía para la iluminación de un edificio. La segunda línea de actuación es la utilización de energía solar para refrigerar el edificio utilizando la tecnología de adsorción de gases.

Para la primera línea el edificio tendrá 50 kW de energía eólico – fotovoltaica: 2 aerogeneradores de 20 kW y 30 kW de energía solar fotovoltaica, que será aprovechada por un electrolizador que genera hidrógeno y oxígeno puros a partir del agua. Una pila de combustible PEM utilizará el hidrógeno almacenado para producir energía eléctrica que alimentará al sistema de iluminación del edificio.

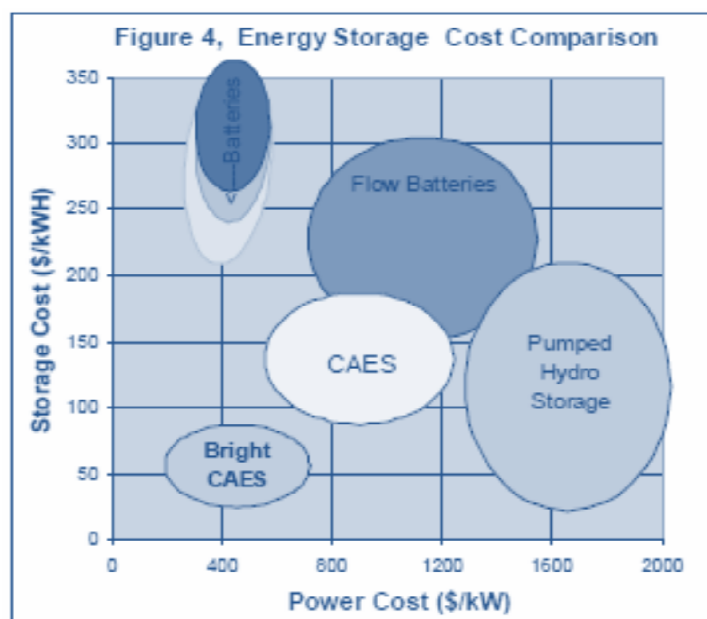
En la segunda línea de actuación, la instalación de generación de frío mediante energía solar consta de frigoríficos solares (diseñados por la Universidad de Burgos), que se basan en la adsorción para transformar la energía solar en frío.

Con la instalación del Proyecto Hydrosolar y un sistema de energía solar térmica se cubrirán al 100 % las necesidades de agua caliente del edificio, 30 % de climatización, 100 % alumbrado exterior y 35 % de calefacción.

6. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

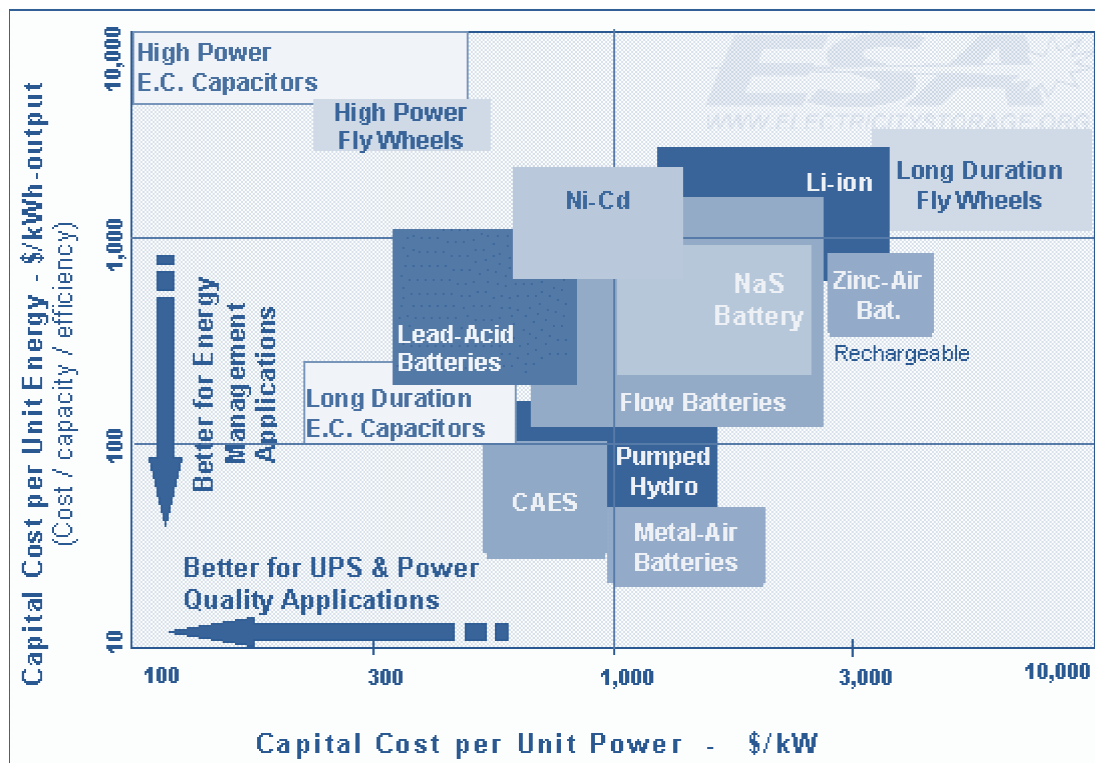
Son numerosas las plantas Termosolares que en la actualidad han optado por el almacenamiento de sales fundidas, como el sistema más rentable para este tipo de centrales de producción de energía renovable. Este dato confirma la conveniencia del sistema y rentabilidad de la tecnología.

Las demás tecnologías son dignas de comparación relacionando los costes de almacenamiento y el precio de los kW. Son variables las fuentes de datos de rentabilidad y costes que existen en la actualidad, un ejemplo son los siguientes esquemas comparativos:



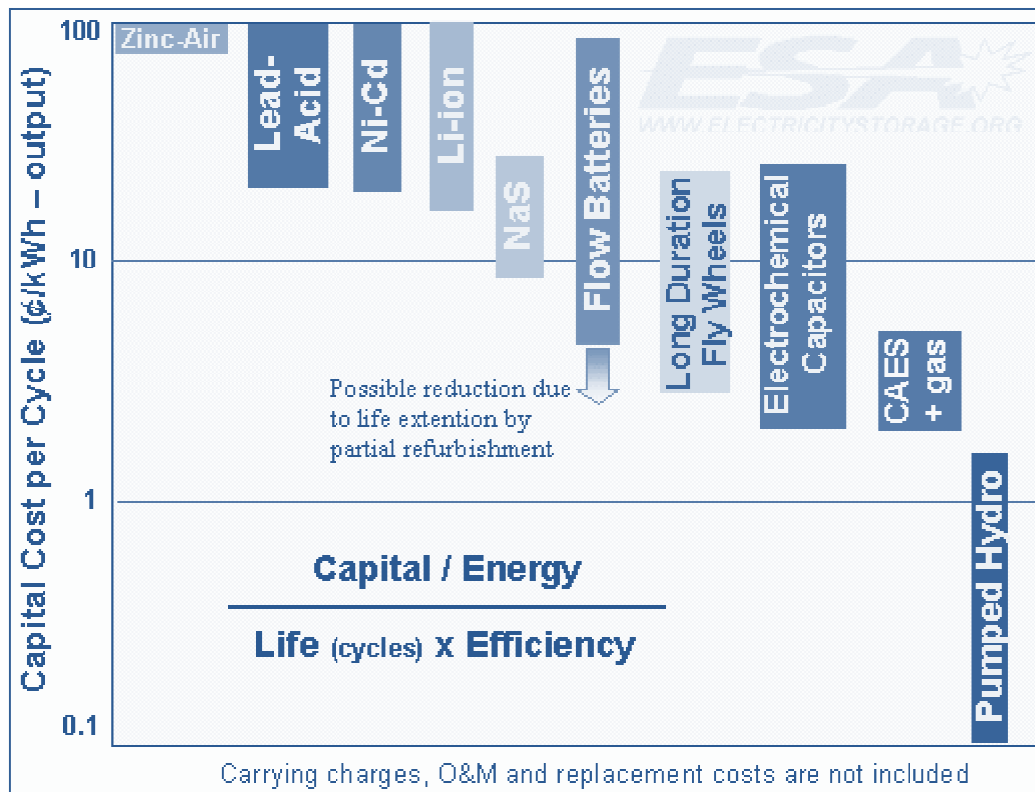
Fuente: CIGRE España

En este grafico se comparan diferentes tecnologías de almacenamiento como las baterías, baterías de flujo, el bombeo hidráulico y almacenamiento de energía en cavidades subterráneas por aire comprimido. Todas ellas atendiendo a la relación del coste de la potencia (eje de abscisas) con el coste de almacenamiento (eje ordenadas).



Fuente: Electricity Storage Association

De manera semejante al caso anterior, la comparativa se realiza mediante un eje de ordenadas y otro de abscisas. En este caso la relación es coste por unidad de potencia (eje de abscisas) y el coste por unidad de energía de salida (eje de ordenadas) de diferentes tecnologías de almacenamiento. Se hace más hincapié en diferentes sistemas de baterías, pero también se incluyen el bombeo, el almacenamiento energético por aire comprimido en cavidades subterráneas, volantes de inercia, supercondensadores y volantes de inercia.



Fuente: Electricity Storage Association

Este gráfico representa el coste por ciclo de cada una de las tecnologías, sin incluir los costes de transporte, operación y mantenimiento y reemplazo.

Tras el estudio de las diferentes tecnologías de almacenamiento y siendo una región con alta participación en las energías renovables solar y eólica, resulta de interés el desarrollo de estas fuentes de almacenamiento, para la mejora de la rentabilidad en las centrales eléctricas de carácter fotovoltaico y eólico.

6. BIBLIOGRAFÍA

<http://www.ree.es/>

<http://www.sotaventogalicia.com/index.php>

<http://www.gamesa.es/es/>

<http://proyectotres.itccanarias.org/>

<http://www.ciemat.es/>

<http://www.aeeolica.org/>

<http://www.upv.es/>

<http://www.upm.es/>

<http://www.redremar.com/>

<http://www.messib.eu/>

<http://www.madrimasd.org/cimtan>

<http://www.hydrosolar21.com>

<http://www.electricitysotrage.org>