

## **Almacenamiento de energía**

La oferta de energías renovables está sometida por lo general a grandes fluctuaciones. Esta es, junto a los costes y el nivel tecnológico, su principal desventaja. La energía procedente de la transformación de fuentes de energía renovables debe, por tanto, ser almacenada de manera intermedia para satisfacer la demanda, en parte contradictoria. Así pues, el alcance y la rapidez con que el viento y el sol van a poder sustituir a las fuentes de energía fósiles depende en gran medida del desarrollo de acumuladores adecuados.

Los acumuladores de energía se pueden clasificar según la forma de energía que almacenan. A continuación se mencionan únicamente aquellos acumuladores con una importancia práctica relevante en la actualidad o un gran potencial para el futuro.

### **Acumuladores de energía térmica**

#### **Acumuladores de calor**

Cambian de temperatura durante los procesos de carga y descarga. El agua, p. ej., se utiliza como acumulador de calor en la calefacción y la preparación de agua caliente. Pero también la piedra, el hormigón y el ladrillo pueden ser buenos acumuladores de calor. Se trata de una práctica estándar y ampliamente extendida para almacenar el calor obtenido a partir del sol.

#### **Acumulador de calor latente**

Estos acumuladores cambian su estado físico o su fase durante los procesos de carga y descarga. El más efectivo es el cambio de fase sólido/líquido. Al fundirse, la sustancia absorbe calor, que vuelve a ceder al solidificarse. Para temperaturas bajas son adecuados las parafinas y algunos materiales sintéticos especiales. Es así como una empresa química ha desarrollado un papel tapiz que lleva integradas unas bolitas de plástico que en los días calurosos de verano absorben calor al fundirse y, por la noche, al solidificarse, vuelven a cederlo, actuando, por así decirlo, como un sistema de climatización que no consume energía. Otro procedimiento, en cambio, aprovecha el calor de disolución en lugar del calor de fusión. Una sal se disuelve por completo en agua a una temperatura determinada y libera así de nuevo el calor acumulado durante su cristalización. El calor de fusión de sales y mezclas de sales es más adecuado para altas temperaturas, de hasta varios cientos de grados. La energía eólica excedente, p. ej., podría así almacenarse en sales fundidas mediante calor de resistencia eléctrica, y emplearse en un momento posterior para la generación de vapor con una turbina de vapor. Las sales fundidas se emplean a escala industrial, p. ej., en centrales térmicas solares. En la central eléctrica de cilindros parabólicos de Andasol 1, 2 y 3, el calor acumulado en las sales fundidas sirve para operar la planta de 3x50 MW durante más de 7 h en ausencia de sol.

### **Acumuladores de energía mecánica**

#### **Volante de inercia**

En la masa en movimiento de un volante de inercia puede acumularse energía. Aunque su contenido de energía no es excesivamente alto (~500 kJ/kg). El volante de inercia debe girar con baja fricción y, por lo general, funciona en el vacío. Las magnitudes típicas de potencia oscilan entre 3 kWh y >100 kWh. En la actualidad se experimenta utilizando volantes de inercia en aerogeneradores y turbinas de gas. Este principio se aplica con éxito desde hace años en pequeñas turbinas de gas para el suministro de corriente en caso de emergencia en hospitales.

## **Central hidroeléctrica reversible**

Cuando la producción de electricidad es superior a la demanda, la central eléctrica toma energía eléctrica de la red eléctrica para bombear agua a un embalse situado a mayor altura. La energía eléctrica se almacena mientras tanto como energía potencial. Al presentarse un pico en la demanda, la central hidroeléctrica trabaja del modo “normal” transformando la energía acumulada de nuevo en electricidad. En Alemania se construyeron centrales hidroeléctricas reversibles a partir de 1923. Las centrales hidroeléctricas reversibles alemanas de Goldisthal 1,06 GW, Markersbach 1,05 GW y Schluchsee 0,95 GW son de las más grandes del mundo. Hoy en día se ha alcanzado una potencia total superior a 6 GW, es decir, suficiente para compensar la falla de varias centrales nucleares o grandes centrales térmicas de carbón. De esta forma se consiguen reducir los apagones en el suministro eléctrico a solo 20 min por año, frente a las casi 3 h en los EE.UU. Por eso los EE.UU. proyectan construir en Brumley Gap la mayor central hidroeléctrica reversible del mundo, con 3,2 GW. A pesar de esas grandes capacidades de almacenamiento aparentes, las centrales hidroeléctricas reversibles que existen en la actualidad apenas tienen capacidad suficiente para acumular de manera intermedia la producción de energía eléctrica excedente procedente de las fuentes de energía convencionales. Dado que en la mayoría de los países, entre ellos Alemania, no se dan las condiciones de rentabilidad necesarias para seguir desarrollando este tipo de almacenamiento, será preciso desarrollar otros acumuladores para las fuentes de energía renovables.

## **Central eléctrica de almacenamiento energético por aire comprimido**

Esta tecnología ya se utiliza en combinación con turbinas de gas (existen dos plantas de este tipo). Dado que las turbinas de gas de por sí ya trabajan con aire altamente comprimido, antes de desconectarse (cuando hay un exceso de oferta de electricidad), la central termoeléctrica llena un depósito de aire comprimido. Al poner de nuevo en funcionamiento la central eléctrica (durante periodos de alta demanda), la liberación de este aire comprimido permite arrancar rápidamente la turbina de gas y aporta potencia adicional sin consumir combustible. Actualmente se está analizando la posibilidad de almacenar temporalmente la energía eólica y solar en depósitos de aire comprimido, con el fin de generar electricidad en ausencia total de combustión mediante turbinas que trabajen exclusivamente con aire comprimido durante los picos de demanda. Si no es posible utilizar como depósitos formaciones geológicas naturales o socavones de minas abandonadas, la construcción de grandes depósitos es, en la actualidad, más bien poco rentable. Otro aspecto a tener en cuenta es que los gases reales se calientan cuando se comprimen, por lo que los depósitos de aire comprimido solo alcanzan un rendimiento de aprox. el 60% debido a las pérdidas de calor. Si no se puede aprovechar ese calor de escape, tampoco será económicamente viable.

## **Acumuladores de energía química**

### **Acumuladores sólidos**

Los acumuladores y las pilas/baterías son células electroquímicas y combinaciones de ellas. Si se combinan electrodos sólidos de metales (en ocasiones también de no metales) con un potencial electroquímico diferente, un tipo de átomo se oxida y el otro se reduce. Los electrones intercambiados en este proceso fluyen por un circuito eléctrico externo, es decir, energía química se transforma en energía eléctrica: la célula se descarga. Por el contrario, si se aplica una tensión externa a esta célula electroquímica, el tipo de átomo oxidado se reduce de nuevo y el tipo de átomo reducido se oxida otra vez. Es decir, durante la carga del acumulador se almacena energía

eléctrica, mediante su transformación en energía química. Los acumuladores convencionales trabajan con plomo (batería de automóvil), níquel/cadmio, níquel/hidruro metálico o litio. Pero son caros, su capacidad de almacenamiento es poco flexible y su vida útil es relativamente corta. Los acumuladores sólidos comunes actualmente solo se pueden recargar entre algunos cientos y mil veces. Eso es muy poco para el almacenamiento de energía eólica o solar en centrales eléctricas.

### **Célula de flujo redox**

Este tipo de acumulador trabaja con electrodos líquidos, p. ej., de cinc (Zn) y bromo (Br). El Zn está suspendido en agua (suspensión), el Br se presenta en una emulsión acuosa orgánica. Dos electrodos de grafito actúan como colectores de corriente. Si el polvo de Zn fluye ahora a lo largo de su electrodo, se oxida, es decir, cede electrones y se disuelve en forma de ion ( $Zn^{2+}$ ). Y cuando el Br fluye a lo largo de su electrodo, se reduce, es decir, acepta electrones y se disuelve en forma de ion bromuro ( $Br^-$ ). Para efectuar la carga, se aplica tensión y se bombean de nuevo ambas soluciones a lo largo de los electrodos. El procedimiento tiene la ventaja de que las suspensiones y las emulsiones cargadas se pueden almacenar en tanques de cualquier tamaño. Estos electrodos líquidos prácticamente no sufren envejecimiento, por lo que el número de ciclos de carga y descarga es, en teoría, ilimitado. Se trata de una solución de baja complejidad técnica y por ello bastante económica, que en principio resulta ideal para almacenar grandes cantidades de energía eléctrica eólica y solar. A pesar de esto, en la actualidad no se dispone todavía de experiencia a escala industrial con instalaciones de este tipo.

### **Hidrógeno**

La electricidad excedente puede utilizarse sin gran dificultad técnica para descomponer por vía electroquímica (electrólisis) agua ( $H_2O$ ) en gas hidrógeno ( $H_2$ ) y gas oxígeno ( $O_2$ ). El oxígeno químicamente puro así obtenido puede venderse fácilmente a la industria o simplemente emitirse a la atmósfera. El gas hidrógeno se puede almacenar en tanques una vez licuado. Las cisternas móviles para hidrógeno líquido son extremadamente complejas e ineficientes; algo que no ocurre con los grandes tanques estacionarios, que actualmente se pueden construir a prueba de explosiones y a un precio relativamente económico. Cuando la demanda de electricidad aumenta, el hidrógeno se puede transformar de nuevo en energía eléctrica mediante combustión en turbinas de gas, motores diésel o motores Stirling, obteniendo agua como producto residual. La eficiencia, no obstante, no es muy alta, ya que los motores térmicos solo pueden transformar una parte del calor (aprox. 40%) en energía mecánica. Por eso resulta más llamativa la tecnología de la célula de combustible. Aquí, la energía eléctrica se obtiene directamente sin combustión con una eficiencia de hasta el 85%. Ya que el único producto residual obtenido es, de nuevo, agua, el almacenamiento de energía con hidrógeno es un procedimiento óptimo desde el punto de vista ecológico, más aún si el gas hidrógeno almacenado se ha obtenido mediante electrólisis efectuada con energía eólica o solar. Una alternativa a la tecnología exclusiva de hidrógeno sería transformar el hidrógeno en metanol ( $CH_3OH$ ) por vía catalítica (proceso Fischer-Tropsch modificado) con  $CO_2$  del aire. De esta forma se dispondría de un carburante y combustible universal, libre de emisiones de  $CO_2$ , capaz de sustituir por completo al petróleo y al gas natural y que, a diferencia del hidrógeno, resulta fácil de almacenar y de distribuir.

## **Acumuladores de energía eléctrica – Condensador**

Los condensadores son la única posibilidad de almacenar directamente energía eléctrica. (¡En un sentido estricto, las bobinas almacenan la energía eléctrica en forma de energía magnética!) Los condensadores se componen de dos polos de gran superficie, entre los cuales se encuentra un aislante eléctrico. Al aplicar una tensión continua, los electrones se desplazan entre los polos. El condensador está ahora cargado y puede volver a entregar la energía en todo momento como flujo de carga a través de un circuito eléctrico externo. Los condensadores están prácticamente exentos de desgaste y poseen una vida útil casi ilimitada. Pero por razones técnicas y económicas solo resultan viables para almacenar cantidades de energía relativamente pequeñas. Esto va desde los relojes solares hasta los conjuntos de condensadores para almacenar la energía de frenado en tranvías, metros y trenes. Los condensadores no son adecuados para almacenar grandes cantidades de energía en centrales de energía eólica o solar. Esto se debe a que la capacidad de almacenamiento de un condensador depende de la superficie de los electrodos, lo que, al igual que en las baterías de electrodos sólidos, exigiría realizar construcciones gigantes y por ende demasiado costosas.

## **Acumuladores de energía magnética – Bobina magnética**

El paso de corriente a través de una bobina provoca la construcción de un campo magnético. Al desconectar el flujo de corriente a través de la bobina, la energía magnética acumulada en este campo puede ser extraída de nuevo en forma de energía eléctrica. Si se consigue configurar el flujo de corriente a través de la bobina como un circuito eléctrico sin resistencia, una bobina puede ser un acumulador adecuado de energía eléctrica. Hoy en día ya se utilizan como acumuladores bobinas fabricadas con materiales superconductores convenientemente refrigerados, y dotadas de una moderna electrónica de control. Pero son extremadamente complejas y caras, y la refrigeración consume mucha energía. Esto hace que, en la práctica, las bobinas magnéticas no sean una opción como sistema para almacenar grandes cantidades de energía.