

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA A GRAN ESCALA:

TECNOLOGÍAS Y CASOS DE ÉXITO PARA EL SECTOR ELÉCTRICO

A medida que las energías renovables ganan terreno, el almacenamiento de energía a gran escala se ha convertido en un pilar para asegurar la estabilidad de la red. La intermitencia de fuentes como la eólica y la solar exige soluciones robustas que almacenen grandes cantidades de energía para su liberación en momentos de alta demanda o baja generación. Tecnologías como las baterías de flujo, las sales fundidas y el almacenamiento de aire comprimido son algunas de las más avanzadas en esta área, y su implementación está comenzando a transformar las redes eléctricas en todo el mundo. En este artículo analizaremos cómo estas innovadoras tecnologías están siendo utilizadas y destacaremos casos de éxito que pueden servir de referencia para ingenieros en el sector eléctrico.

RETOS EN EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA A GRAN ESCALA

El reto principal al que se enfrenta el almacenamiento de energía es proporcionar una respuesta estable y flexible a la variabilidad inherente de las renovables. Esto requiere soluciones con suficiente capacidad para suplir los picos de demanda durante varias horas o incluso días. Cada tecnología de almacenamiento tiene características únicas que le permiten responder a ciertas necesidades, pero también presenta limitaciones que deben ser consideradas. Las tres tecnologías destacadas en este artículo han demostrado ser efectivas en casos específicos, convirtiéndose en herramientas clave para las empresas eléctricas y otros actores de la cadena industrial.

1. BATERÍAS DE FLUJO: SOLUCIONES FLEXIBLES Y DURADERAS

Las baterías de flujo representan una de las tecnologías más avanzadas y prometedoras para el almacenamiento de energía a gran escala. A diferencia de las baterías de iones de litio convencionales, las baterías de flujo emplean electrolitos líquidos que se almacenan en tanques externos y que fluyen hacia una celda de reacción para producir electricidad. Su ventaja principal es que la capacidad de almacenamiento y la potencia de salida son independientes, lo que permite adaptar la solución a las necesidades específicas de almacenamiento a largo plazo o de potencia alta.

Caso de Éxito: Proyecto Dalian Flow Battery Energy Storage (China)

China está liderando la implementación de baterías de flujo con su proyecto en

Dalian, una batería de flujo redox de vanadio que cuenta con una capacidad de almacenamiento de 200 MW/800 MWh, convirtiéndose en el sistema de baterías de flujo más grande del mundo. Este sistema permite almacenar energía generada por parques eólicos y solares de la región, asegurando un suministro constante para una red urbana de gran tamaño. Además, la batería tiene una vida útil superior a 20 años, ofreciendo ciclos de carga y descarga casi ilimitados sin degradación significativa, lo que la convierte en una opción económicamente viable para aplicaciones de largo plazo.

2. ALMACENAMIENTO CON SALES FUNDIDAS: EFICIENCIA EN SISTEMAS TERMOELÉCTRICOS

El almacenamiento de energía en sales fundidas es una tecnología especialmente efectiva en plantas de energía solar concentrada (CSP). Las sales fundidas funcionan como un medio de almacenamiento térmico: el calor se concentra en un fluido que luego es transferido a sales que pueden retenerlo durante varias horas. Este calor puede ser liberado para generar vapor y activar turbinas cuando la energía solar no esté disponible. La capacidad de almacenamiento de sales fundidas es considerablemente alta, con la posibilidad de mantener el calor durante períodos prolongados.

Caso de Éxito: Planta Solar Noor en Ouarzazate (Marruecos)

La planta solar Noor, en Marruecos, es uno de los mayores proyectos de energía solar concentrada con almacenamiento en sales fundidas. Con una capacidad de 510 MW y 8 horas de almacenamiento, Noor puede suministrar electricidad durante toda la noche, maximizando el aprovechamiento del recurso solar. Este proyecto ha sido pionero en África, no solo

en el uso de sales fundidas, sino en la integración de tecnología CSP para garantizar un suministro continuo y sin interrupciones a la red local. La estabilidad de la planta ha reducido la dependencia de fuentes fósiles y ha permitido evitar la emisión de aproximadamente 760,000 toneladas de CO₂ al año.

3. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA POR AIRE COMPRIMIDO (CAES): EFICIENCIA EN LA COMPRESIÓN DE ENERGÍA

El almacenamiento de energía mediante aire comprimido (CAES, por sus siglas en inglés) consiste en utilizar energía excedente para comprimir aire y almacenarlo en cavidades subterráneas o tanques de alta presión. Cuando se necesita electricidad, el aire comprimido se expande a través de turbinas para generar energía. La tecnología CAES es particularmente atractiva para proyectos de larga duración, ya que es capaz de almacenar grandes volúmenes de energía a un costo relativamente bajo.

Caso de Éxito: Planta de Almacenamiento de Energía de Aire Comprimido en Huntorf (Alemania)

La planta de CAES en Huntorf, Alemania, es uno de los proyectos más antiguos y exitosos de almacenamiento de aire comprimido. Desde su inauguración en 1978, esta planta de 290 MW ha demostrado una fiabilidad impresionante. Utiliza energía de fuentes renovables para comprimir aire y almacenarlo en cavernas subterráneas de sal. Durante períodos de alta demanda, el aire comprimido se libera y genera electricidad para equilibrar la red. Huntorf es un ejemplo de cómo el CAES puede proporcionar almacenamiento a largo plazo de forma económica y confiable, siendo una tecnología adecuada para zonas geológicamente aptas para la compresión de aire.

LOGESPEC
VIGILANCIA TECNOLÓGICA P. 16

COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS Y ESCALABILIDAD

Tecnología	Capacidad de Almacenamiento	Durabilidad	Costo	Ejemplo de Aplicación
Baterías de Flujo	Escalable (MW a GW)	Alta (>20 años)	Medio-Alto	Dalian Flow Battery (China)
Sales Fundidas	Alta (MW a GW)	Alta	Medio	Noor CSP (Marruecos)
Aire Comprimido (CAES)	Muy alta (GW)	Muy Alta	Bajo	Huntorf CAES (Alemania)

Cada una de estas tecnologías tiene fortalezas únicas y puede ser aplicada según el contexto de la red y las demandas específicas de almacenamiento y duración. Las baterías de flujo destacan por su adaptabilidad a distintas potencias y capacidades; las sales fundidas son ideales en sistemas solares térmicos, mientras que el CAES es una solución eficaz para proyectos a gran escala con bajos costos de operación.

DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS FUTURAS DEL ALMACENAMIENTO A GRAN ESCALA

Aunque estas tecnologías están marcando una diferencia, aún enfrentan varios desafíos:

- COSTO DE IMPLEMENTACIÓN Y ESCALABILIDAD:** Las baterías de flujo y las plantas de sales fundidas tienen un costo inicial elevado, lo cual puede limitar su adopción en regiones con restricciones presupuestarias. Sin embargo, se espera que estos costos
- UBICACIÓN Y ESPACIO PARA CAES Y SALES FUNDIDAS:** Mientras que el CAES requiere condiciones geológicas específicas para almacenar el aire comprimido, las plantas de sales fundidas necesitan amplios espacios y condiciones climáticas favorables para maximizar la eficiencia solar.
- CICLO DE VIDA Y MANTENIMIENTO:** Aunque la durabilidad de las tecnologías de almacenamiento es alta, los costos de mantenimiento y el desgaste pueden ser considerables en sistemas con altas frecuencias de ciclo, especialmente en las baterías de flujo y el CAES.

El almacenamiento de energía a gran escala es una de las piezas clave en la transición hacia un sistema energético renovable y resiliente. Ingenieros y profesionales del sector eléctrico deben considerar las características únicas de cada tecnología para adoptar la solución que mejor se adapte a las necesidades de su red y de su cadena industrial. En el futuro cercano, la combinación de estas tecnologías en redes híbridas de almacenamiento podría permitir una flexibilidad y estabilidad sin precedentes, asegurando un suministro eléctrico confiable, económico y sustentable.

en el uso de sales fundidas, sino en la integración de tecnología CSP para garantizar un suministro continuo y sin interrupciones a la red local. La estabilidad de la planta ha reducido la dependencia de fuentes fósiles y ha permitido evitar la emisión de aproximadamente 760,000 toneladas de CO₂ al año.

**NORMAS
 RELACIONADAS**



10

1. IEC 62933-1: Almacenamiento de Energía en la Red Eléctrica - Parte 1: Terminología General

Esta norma establece una terminología uniforme para el almacenamiento de energía en la red, aplicable a múltiples tipos de almacenamiento, incluidos los sistemas de baterías, térmicos y de aire comprimido.

2. IEC 62933-2-1: Almacenamiento de Energía en la Red Eléctrica - Requisitos Generales para los Sistemas de Almacenamiento de Energía de Batería

Define los requisitos técnicos generales para el almacenamiento en baterías en aplicaciones de red, incluyendo seguridad y fiabilidad, especialmente útil para baterías de flujo.

3. IEC 61427-2: Baterías Recargables de Plomo y de Ácido para Sistemas de Almacenamiento de Energía - Parte 2: Métodos de Ensayo para Aplicaciones en la Red Eléctrica

Establece métodos de prueba y criterios de desempeño para sistemas de almacenamiento de energía en la red que usan baterías de flujo y otros sistemas recargables.

4. ISO 19880-1: Estaciones de Hidrógeno - Parte 1: Requisitos Generales

Aunque está enfocada en hidrógeno, la norma es relevante para los sistemas de almacenamiento de energía que involucran compresión y almacenamiento seguro en tanques.

5. IEC 62932-1: Sistemas de Baterías de Flujo para Aplicaciones de Almacenamiento de Energía Eléctrica - Parte 1: Principios Generales y Terminología

Norma específica para baterías de flujo, cubriendo su diseño, principios de operación, y aspectos de seguridad.

6. IEC 62932-2-1: Sistemas de Baterías de Flujo - Requisitos de Ensayo para el Sistema de Energía

Describe los métodos de prueba para evaluar el desempeño y la durabilidad de sistemas de baterías de flujo en almacenamiento de energía.

7. IEC TS 62862-1-1: Tecnología de Energía Solar Térmica - Requisitos Generales para Plantas de Energía Solar de Concentración

Norma para plantas de energía solar concentrada (CSP), útil para el almacenamiento en sales fundidas, detallando requisitos de diseño y operación.

8. ISO 23545: Requisitos de Diseño y Operación para Sistemas de Sales Fundidas en Plantas de Energía Solar Concentrada

Define directrices específicas para el uso seguro y eficiente de sales fundidas como medio de almacenamiento térmico en plantas CSP.

9. IEC 60812: Análisis de la Fiabilidad del Sistema - Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA)

Proporciona metodologías de análisis de fallas aplicables a sistemas de almacenamiento de energía, tanto en baterías como en sistemas de aire comprimido y sales fundidas.

10. IEC 61400-20: Requisitos para la Integración de Sistemas de Almacenamiento en Parques Eólicos

Esta norma aborda la integración de almacenamiento en parques eólicos, aplicable a tecnologías como baterías de flujo para optimizar el uso de la energía generada.

11. IEC 62909-1: Convertidores Electrónicos para Sistemas de Almacenamiento en la Red de Distribución

Normativa que cubre los requisitos para convertidores de potencia en sistemas de almacenamiento, esencial para baterías de flujo y otros sistemas de almacenamiento de energía en la red.

12. ISO 11527: Especificaciones de Tanques de Presión para Almacenamiento de Energía de Aire Comprimido (CAES)

Norma específica para el diseño y operación de tanques de aire comprimido en sistemas CAES, con directrices para la seguridad y eficiencia del almacenamiento.

13. ISO 23900: Materiales y Pruebas de Compatibilidad en Almacenamiento de Energía Térmica con Sales Fundidas

Norma que aborda la compatibilidad de materiales y los métodos de prueba para sales fundidas, asegurando una operación segura y duradera en plantas CSP.

14. IEC 61427-3: Pruebas de Ciclo de Vida para Baterías Recargables en Almacenamiento de Energía en la Red

Especifica los métodos de prueba de ciclo de vida para baterías utilizadas en almacenamiento de energía a gran escala, con un enfoque en la durabilidad y la capacidad de carga-descarga de larga duración.

15. IEC 62282-8-101: Requisitos de Seguridad y Rendimiento para Sistemas de Almacenamiento de Energía en Celdas de Combustible

Aplicable para sistemas híbridos que combinan almacenamiento en celdas de combustible con otras tecnologías, cubriendo los requisitos de seguridad y eficiencia para su integración en la red.