

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2025,
Volumen 9, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1

SOLUCIONES DE ALMACENAMIENTO PARA INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

STORAGE SOLUTIONS FOR RENEWABLE ENERGY INTEGRATION

Lucía Jeanette Calzada Cano

Instituto Tecnológico de México (Campus Cd. Madero)

Jorge Alberto López Arcos

Instituto Tecnológico de México (Campus Cd. Madero)

Francisco Manuel García Reyes

Instituto Tecnológico de México (Campus Cd. Madero)

Luis Alberto García Reyes

Instituto Tecnológico de México (Campus Cd. Madero)

Sergio Lerma Ledezma

Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios 105

Gladis Guadalupe Suárez Velázquez

Universidad Politécnica de Altamira

Soluciones de Almacenamiento para Integración de Energías Renovables

M. G. A. Lucía Jeanette Calzada Cano¹

lucia.cc@cdmadero.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0002-6500-2595>

Instituto Tecnológico de México (Campus Cd. Madero)

Cd. Madero, Tamaulipas, México.

M.C. Jorge Alberto López Arcos

jorge.la@cdmadero.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0005-7374-569X>

Instituto Tecnológico de México (Campus Cd. Madero)

Cd. Madero, Tamaulipas, México.

Dr. Francisco Manuel García Reyes

Francisco.gr@cdmadero.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0000-1506-8989>

Instituto Tecnológico de México (Campus Cd. Madero)

Cd. Madero, Tamaulipas, México.

Dr. Luis Alberto García Reyes

luis.gr@cdmadero.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0009-1853-4194>

Instituto Tecnológico de México (Campus Cd. Madero)

Cd. Madero, Tamaulipas, México.

Ing. Sergio Lerma Ledezma

sergio.lerma@cbtis105.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0005-9806-8621>

Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios 105.

Altamira, Tamaulipas, México.

Gladis Guadalupe Suárez Velázquez*

gladis.suarez@upalt.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9681-8987>

Universidad Politécnica de Altamira
Altamira, Tamaulipas, México.

Centro Nacional de Posgrados Energéticos,
Sinaloa, México.

RESUMEN

El presente trabajo ofrece una revisión general de los sistemas de almacenamiento de energía empleados junto a fuentes renovables. Las cuales son soluciones propuestas para la mitigación de los gases de efecto invernadero. Se expone la necesidad de complementar la generación eólica y solar con dispositivos que garanticen la estabilidad de la red eléctrica. Se analizan sistemas de energía hidroeléctrica de bombeo, sistemas de almacenamiento magnético superconductor (SMES) y volantes de inercia. Así como sistemas electroquímicos como los son los supercondensadores, baterías (litio, plomo-ácido, NiMH) y pilas de combustible de óxido sólido, de alcohol directo, de carbonatos fundidos ácido fosfórico y alcalinas. Se detalla su principio de funcionamiento, ventajas, limitaciones, respuesta y requisitos de infraestructura. El trabajo concluye que la combinación de fuentes renovables con sistemas híbridos de gestión y almacenamiento es esencial para garantizar suministro, calidad de energía y transición energética sostenible.

Palabras clave: almacenamiento de energía, baterías, celdas de combustible, supercapacitores, volán

¹ Autor principal

Correspondencia: lucia.cc@cdmadero.tecnm.mx

Storage Solutions for Renewable Energy Integration

ABSTRACT

This paper provides a general review of energy storage systems used in conjunction with renewable sources, which are proposed solutions for greenhouse gas mitigation. It discusses the need to complement wind and solar generation with devices that guarantee grid stability. It analyzes pumped hydropower systems, superconducting magnetic storage (SMES) systems, and flywheels, as well as electrochemical systems such as supercapacitors, batteries (lithium, lead-acid, NiMH), and solid oxide fuel cells, direct alcohol, molten carbonate phosphoric acid, and alkaline fuel cells. It details their operating principles, advantages, limitations, response, and infrastructure requirements. The paper concludes that combining renewable sources with hybrid management and storage systems is essential to guarantee supply, energy quality, and a sustainable energy transition.

Keywords: energy storage, batteries, fuel cells, supercapacitors, Flywheel

Artículo recibido 05 mayo 2025

Aceptado para publicación: 15 junio 2025



INTRODUCCIÓN

El Acuerdo de París, firmado en 2016, propuso reducir la temperatura global por debajo de los 2 °C para evitar efectos catastróficos como sequías, escasez de agua dulce y deshielo polar en diferentes partes del mundo, derivados del cambio climático. De esta forma, los países involucrados acordaron proponer acciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y no sobrepasar los 1,5 °C. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), los gases de efecto invernadero son aquellos que retienen el calor en la atmósfera. Ejemplos de estos son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y gases fluorados. La mayoría de estos gases son emitidos por la quema de combustibles fósiles utilizados para obtener combustible y electricidad. Además de lo anterior, el crecimiento poblacional ha acelerado el cambio climático debido a la alta demanda de transporte y electricidad. Por esta razón, se han propuesto diversas fuentes de energía no contaminantes o renovables que dependen de recursos inagotables como el sol, el viento o las mareas para la generación de electricidad. Sin embargo, estas fuentes no pueden utilizarse sin un sistema de respaldo debido a su comportamiento aleatorio, que puede causar problemas a la red eléctrica o a las cargas alimentadas. Por lo tanto, las fuentes renovables se utilizan junto con otras fuentes de energía y sistemas de almacenamiento para formar sistemas híbridos. Entre las que podemos destacar, los volantines de inercia, los superconductores, la energía hidroeléctrica de bombeo, las pilas de combustible y las baterías. Sin embargo, además de las baterías existen dispositivos que responden rápidamente a problemas en el sistema, como los supercondensadores. De esta manera, este trabajo pretende dar una revisión general de los sistemas de almacenamiento de energía utilizados junto con energía renovable.

Fuentes de energía renovables utilizadas con almacenamiento

Con el agotamiento de los combustibles fósiles y la preocupación por el cambio climático, investigadores de todo el mundo se esfuerzan por proponer nuevas fuentes de energía alternativas con cero emisiones. Esto se ha centrado en la búsqueda de nuevos materiales para hacerlas más eficientes y fiables. Además, el crecimiento de la demanda eléctrica hace necesaria la incorporación de nuevas fuentes de energía, así como plantas de generación de gran capacidad.

Las fuentes de energía renovables son aquellas que no provienen de combustibles fósiles ni emiten



CO₂. Además, proporcionan energía a partir de fuentes consideradas inagotables y naturales, como el viento, el sol, el agua y la biomasa. A continuación, se presentará una breve explicación de los diferentes sistemas de almacenamiento de energías.

Los sistemas de almacenamiento de energía (ESS) han permitido abordar problemas de calidad como interrupciones de potencia, mitigación de eventos transitorios y distorsiones armónicas que ocurren al incorporar energías renovables a la red eléctrica. En estos dispositivos, la energía se puede almacenar mediante magnetismo, inercia, presión, fenómenos electroquímicos y electrostática. Existen diversos dispositivos de almacenamiento de energía descritos en la literatura, los cuales se explican a continuación:

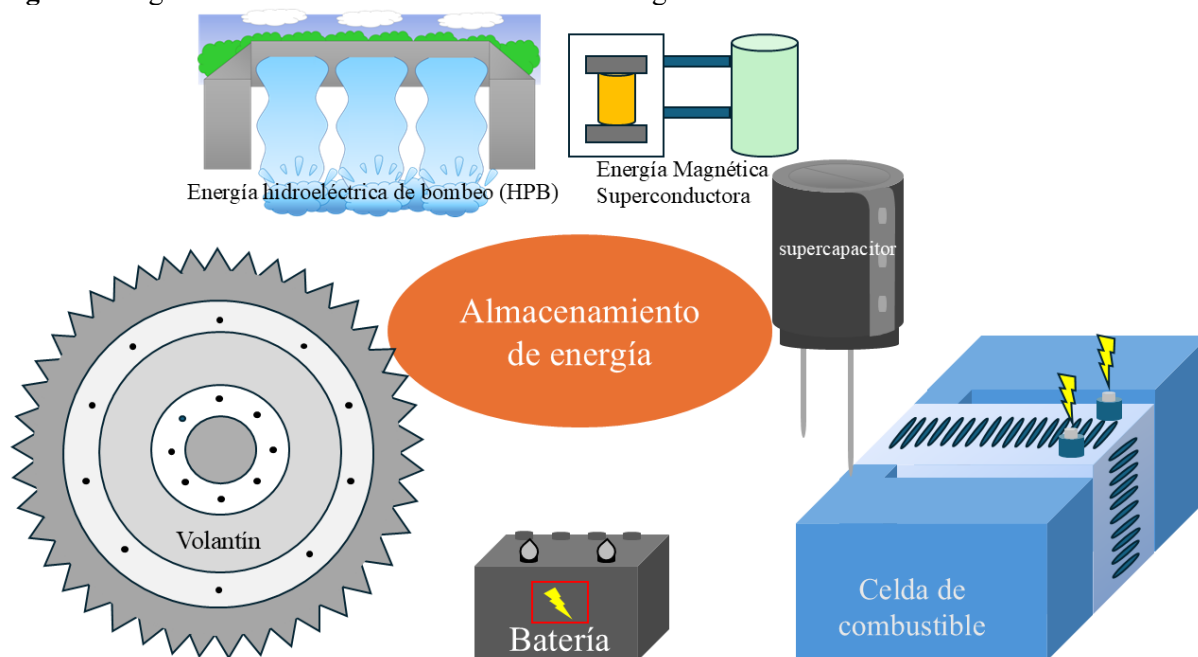
Almacenamiento de Energía Magnética Superconductora

El almacenamiento de energía magnética superconductora es un sistema compuesto por una bobina superconductora, un sistema electrónico de potencia y un sistema de refrigeración criogénica. El almacenamiento se realiza mediante el campo magnético generado por una corriente eléctrica en la bobina sometida a la temperatura crítica de superconductividad. Las ventajas de los SMES son: alta densidad de potencia, alta velocidad de respuesta, buen funcionamiento cíclico frecuente, larga vida útil y altas tasas de carga/descarga (Papageorgiou et al., 2023). Su principal desventaja es la necesidad de un sistema criogénico (-153°C) para mantener la conductividad en la bobina, lo que conlleva su elevado costo.

Volante de inercia

El almacenamiento en el volante de inercia se realiza mediante el principio de masa rotatoria. El intercambio de energía eléctrica y mecánica se realiza mediante un volante de inercia accionado por un motor-generador (MG). Además de estos componentes, se requieren una interfaz electrónica de potencia y rodamientos (Amiryar y Pullen, 2017). El volante de inercia presenta alta densidad de potencia, alta velocidad de respuesta, densidad energética moderada, larga vida útil y un costo moderado (Solar e Instalación, 2020).

Figura 1. Algunos sistemas de almacenamiento de energía



Energía hidroeléctrica de bombeo (HPB)

La energía hidroeléctrica de bombeo es la tecnología de almacenamiento de energía a gran escala más antigua. La HPB cuenta con dos embalses de agua a diferentes alturas. Esta diferencia, junto con la capacidad de los embalses, permite el movimiento del agua de una turbina conectada a un alternador. Su principal aplicación es el suministro de energía en períodos de baja demanda en aplicaciones de alta potencia (GWh o MW). La principal desventaja es la infraestructura, que requiere dos espacios con diferentes alturas (Ibrahim et al., 2008).

Celdas de combustible (FC)

Las pilas de combustible son dispositivos que convierten la energía de diferentes combustibles en energía eléctrica mediante reacciones electroquímicas. Las pilas de combustible (FC) han surgido como dispositivos de almacenamiento de energía cuyo funcionamiento consiste en alimentarse con combustible en el ánodo, mientras que en el cátodo se puede alimentar con oxígeno o aire. Las reacciones químicas se convierten en energía eléctrica suministrada por un circuito externo. El voltaje y la potencia de salida promedio en las celdas de combustible son de 0,7 V. Por esta razón, las FC se conectan en serie para aumentar el voltaje y en paralelo para aumentar la potencia. Existen varios tipos de FC según su electrolito. Los tipos de celdas que se encuentran en la literatura en combinación con supercondensadores son: celda de combustible de intercambio de protones (PEMFC), celda de

combustible de óxido sólido (SOFC), pila de combustible de alcohol directo (DAFC), que utiliza un electrolito de alcohol o etanol, celda de combustible de carbonato fundido (MCFC), celda de combustible de ácido fosfórico (PAFC) y pilas de combustible alcalinas (AFC) (Abdelkareem et al., 2021). La celda FCPEM es una celda alimentada con hidrógeno puro o reformado con eliminación de CO_2 , con baja temperatura de operación (menos de $100\text{ }^\circ\text{C}$). La celda SOFC, cuyo electrolito es cerámica sólida, su combustible es H_2/CO y CH_4 , tiene una temperatura de operación de entre 700 y $1000\text{ }^\circ\text{C}$. La celda DAFC utiliza una membrana de nafion como electrolito, su combustible es metanol o etanol y opera a temperaturas inferiores a $60\text{ }^\circ\text{C}$. La celda MCFC utiliza una sal de carbonato fundido con una matriz cerámica porosa como electrolito, su combustible es gas combustible derivado del carbón, metano o gas natural, y tiene una temperatura de operación de aproximadamente $650\text{ }^\circ\text{C}$. La celda PAFC opera con un electrolito de ácido fosfórico. El hidrógeno se deriva de hidrocarburos o combustibles que contienen hidrógeno y tiene una temperatura de funcionamiento de 160 a $220\text{ }^\circ\text{C}$. Los AFC tienen un electrolito de KOH o NaOH , su combustible es hidrógeno y su temperatura de funcionamiento oscila entre 23 y $70\text{ }^\circ\text{C}$ (Abdelkareem et al., 2021).

Baterías

Las baterías almacenan energía mediante reacciones químicas para convertirla en energía eléctrica. Existen diversos tipos de baterías según los materiales que las componen. La literatura reporta el uso de baterías de plomo-ácido sulfúrico (SC) con baterías de níquel-metal hidruro (NiMH), baterías de plomo-ácido sulfúrico y baterías de iones de litio para la implementación de energías renovables (Chotia y Chowdhury, 2016) (Guo et al., 2023). Las baterías de níquel-metal hidruro (NiMH) consisten en un cátodo con partículas de $\text{Ni}(\text{OH})_2$ y un ánodo con partículas de hidruro metálico separadas por un polímero impermeable a los gases y un electrolito de KOH (Cassayre et al., 2022). Son económicas y brindan alta seguridad. Además, se han utilizado en vehículos eléctricos (HEV), pero actualmente están siendo reemplazadas por baterías de iones de litio (Li-ion). Las baterías de iones de litio tienen altas densidades de energía gravimétrica y volumétrica, y una baja tasa de autodescarga. Están formadas por ánodos con un material activo a base de carbono y un cátodo con material activo a base de óxido metálico, electrolito de hexafluorofosfato de litio (LiPF_6) y un separador de membrana porosa (polipropileno (PP), polietileno (PE), o mezcla de estos últimos (Kabir

& Demirocak, 2012). El plomo sulfúrico está formado por un ánodo de Pb y un cátodo de PbO₂, electrolito de electrolitos acuosos con ácido sulfúrico. Su principal ventaja es su economía y su principal desventaja es el daño a la salud (Lopes & Stamenkovic, 2020). La Tabla 2 muestra algunas aplicaciones de las baterías SC híbridas.

Supercapacitor

En su configuración física, contiene dos electrodos: un ánodo y un cátodo, separados por una membrana que los separa eléctricamente y permite el paso del electrolito. El electrolito puede ser acuoso u orgánico. Los electrodos tienen una alta área superficie y una gran cantidad de poros que permiten la penetración de los iones del electrolito. La capacitancia está fuertemente influenciada por la superficie.

El supercondensador tiene mayor potencia específica, pero menor energía específica. Por lo tanto, a diferencia de las baterías, su carga y descarga es rápida. Esta característica permite proporcionar respaldo de energía en periodos cortos de tiempo.

CONCLUSIONES

La incorporación de sistemas de almacenamiento junto a fuentes renovables resulta imprescindible para afrontar la variabilidad de generación y garantizar la estabilidad de la red eléctrica. Cada tecnología revisada presenta ventajas y limitaciones específicas: los SC, SMES y los volantes de inercia destacan por su alta densidad de potencia y rápida respuesta, mientras que las baterías y las pilas de combustible ofrecen mayor capacidad energética a costa de tiempos de carga más prolongados o requisitos de infraestructura compleja. La integración estratégica de estos dispositivos en configuraciones híbridas optimiza la eficiencia global, mitigando eventos transitorios y mejorando la calidad de suministro. Se recomienda profundizar en el desarrollo de sistemas de gestión inteligente y mejorar la durabilidad de los componentes para impulsar la transición energética.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelkareem, M. A., Elsaid, K., Wilberforce, T., Kamil, M., Sayed, E. T., & Olabi, A. (2021). Environmental aspects of fuel cells: A review. *Science of the Total Environment*, 752. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141803>
- Abeywardana, D. B. W., Hredzak, B., Agelidis, V. G., & Demetriades, G. D. (2017). Supercapacitor

- sizing method for energy-controlled filter-based hybrid energy storage systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32(2), 1626–1637. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2016.2552198>
- United States Environmental Protection Agency (2020). *Sources of Greenhouse Gas Emissions*. Climate Change. March 31, 2025
- Allaoua, B., Asnoune, K., & Mebarki, B. (2017). Energy management of PEM fuel cell/supercapacitor hybrid power sources for an electric vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(33), 21158–21166. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.06.209>
- Amiriyar, M. E., & Pullen, K. R. (2017). A review of flywheel energy storage system technologies and their applications. *Applied Sciences*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/app7030286>
- Arranz-Gimon, A., Zorita-Lamadrid, A., Morinigo-Sotelo, D., & Duque-Perez, O. (2021). A review of total harmonic distortion factors for the measurement of harmonic and interharmonic pollution in modern power systems. *Energies*, 14(20). <https://doi.org/10.3390/en14206467>
- Babu A, V., & Calay, R. K. (2017). Development of a fuel cell propulsion system for the existing Mercedes B-Class 160 of petrol driven car. *International Journal of Green Energy*, 14(10), 801–810. <https://doi.org/10.1080/15435075.2017.1330751>
- Benavides, D., Arévalo, P., Tostado-Véliz, M., Vera, D., Escamez, A., Aguado, J. A., & Jurado, F. (2022). An Experimental Study of Power Smoothing Methods to Reduce Renewable Sources Fluctuations Using Supercapacitors and Lithium-Ion Batteries. *Batteries*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/batteries8110228>
- Cassayre, L., Guzhov, B., Zielinski, M., & Biscans, B. (2022). Chemical processes for the recovery of valuable metals from spent nickel metal hydride batteries: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 170(October). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112983>
- Chotia, I., & Chowdhury, S. (2016). Battery storage and hybrid battery supercapacitor storage systems: A comparative critical review. *Proceedings of the 2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia, ISGT ASIA 2015*. <https://doi.org/10.1109/ISGT-Asia.2015.7387080>
- Colak, I., Bayindir, R., & Sagiroglu, S. (2020). The Effects of the Smart Grid System on the National Grids. *8th International Conference on Smart Grid, IcSmartGrid 2020*, 122–126.

<https://doi.org/10.1109/icSmartGrid49881.2020.9144891>

- Corti, F., Laudani, A., Lozito, G. M., Palermo, M., Quercio, M., Pattini, F., & Rampino, S. (2023). Dynamic Analysis of a Supercapacitor DC-Link in Photovoltaic Conversion Applications. *Energies*.
- Eto, J. H., LaCommare, K. H., Caswell, H. C., & Till, D. (2019). Distribution system versus bulk power system: Identifying the source of electric service interruptions in the US. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 13(5), 717–723. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2018.6452>
- Gao, X., Wang, M., Yue, E., & Muljadi, W. (2013). Probabilistic Approach for Power Capacity Specification of Wind Energy Storage Systems Eduard Muljadi. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50(2), 1215–1224.
- Guo, L., Hu, P., & Wei, H. (2023). Development of supercapacitor hybrid electric vehicle. *Journal of Energy Storage*, 65(March). <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107269>
- Ibrahim, H., Ilinca, A., & Perron, J. (2008). Energy storage systems-Characteristics and comparisons. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(5), 1221–1250. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.01.023>
- Kabir, M. M., & Demirocak, D. E. (2012). Degradation mechanisms in Li-ion batteries: a state-of-the-art review. *Archives of Thermodynamics*, 33(4), 23–40. <https://doi.org/10.1002/er>
- Khelifi, F., & Belhadj, J. (2017). Smoothing power in microgrid by fast storage of electrical energy. *International Conference on Green Energy and Conversion Systems, GECS 2017*. <https://doi.org/10.1109/GECS.2017.8066134>
- Khosravani, A., Safaei, E., Reynolds, M., Kelly, K. E., & Powell, K. M. (2023). Challenges of reaching high renewable fractions in hybrid renewable energy systems. *Energy Reports*, 9, 1000–1017. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.12.038>
- Kollimalla, S. K., Ukil, A., Gooi, H. B., Manandhar, U., & Tummuru, N. R. (2017). Optimization of Charge/Discharge Rates of a Battery Using a Two-Stage Rate-Limit Control. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 8(2), 516–529. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2016.2608968>



- Lave, M., Kleissl, J., & Arias-Castro, E. (2012). High-frequency irradiance fluctuations and geographic smoothing. *Solar Energy*, 86(8), 2190–2199.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.06.031>
- Li, L., Huang, Z., Li, H., & Lu, H. (2016). *A High-Efficiency Voltage Equalization Scheme for Supercapacitor Energy Storage System in Renewable Generation Applications*.
<https://doi.org/10.3390/su8060548>
- Li, S., He, H., & Zhao, P. (2021). Energy management for hybrid energy storage system in electric vehicle: A cyber-physical system perspective. *Energy*, 230(September), 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120890>
- Lopes, B. P. P., & Stamenkovic, V. R. (2020). Past, present, and future of lead–acid batteries. *Batteries*, 369(6506), 923–924.
- Mahdi, B. S., Al-fadheeli, M. A., Sulaiman, N. bin, Hizam, H. bin, Shafie, S. bin, & Shehab, M. A. (2022). Comparative Study of DC/AC Inverter Control Techniques for Three Phase Grid Connected PV System. *TEM Journal*, 11(3), 1364–1375. <https://doi.org/10.18421/TEM113-47>
- Mali, V., & Tripathi, B. (2022). Thermal Stability of Supercapacitor for Hybrid Energy Storage System in Lightweight Electric Vehicles: Simulation and Experiments. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 10(1), 170–178.
<https://doi.org/10.35833/MPCE.2020.000311>
- Mesbahi, T., Khenfri, F., Rizoug, N., Bartholomeüs, P., & Le Moigne, P. (2017). Combined Optimal Sizing and Control of Li-Ion Battery/Supercapacitor Embedded Power Supply Using Hybrid Particle Swarm-Nelder-Mead Algorithm. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 8(1), 59–73. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2016.2582927>
- Mumtaz, S., & Khan, L. (2017). Adaptive control paradigm for photovoltaic and solid oxide fuel cell in a grid-integrated hybrid renewable energy system. In *PLoS ONE* (Vol. 12, Issue 3).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173966>
- NASA Earth Observatory. (2019). *Solar-Powered China*.
- Nesterenko, G., Vakulenko, V., Zyryanov, V., Potapenko, A., Prankevich, G., & Aleksandrov, M. (2022). Analysis of the frequency deviation in off-grid power system of oil field. *Energy*

Reports, 8, 831–838. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.05.272>

Noor Abu Dhabi. (2024). *Noor Abu Dhabi is one of the world ' s largest stand-alone operational solar plant located in Abu Dhab*. <https://noorabudhabi.ae/>

Papageorgiou, P. G., Oureilidis, K. O., & Christoforidis, G. C. (2023). A systematic review of hybrid superconducting magnetic/battery energy storage systems: Applications, control strategies, benefits, limitations and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183(May). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113436>

Power Techlogy. (2024). *Power plant profile: MidAmerican Solar Star PV Park, US*. <https://www.power-technology.com/marketdata/power-plant-profile-midamerican-solar-star-pv-park-us/>

Ş, S. N. K., & Shingare, P. (2011). A review on power quality challenges in renewable Energy grid integration. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 6(5). <https://doi.org/10.14741/ijcet/22774106/6.5.2016.14>

Schulz, D. (2008). Luo X, Wang J, Dooner M, Clarke J. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Appl Energy* 2015;137:511–36. 24. *Power Systems*, 34(April). <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-318-7>

Siangsanoh, A., Bahrami, M., Kaewmanee, W., Gavagsaz-ghoachani, R., Phattanasak, M., Martin, J. P., Nahid-Mobarakeh, B., Weber, M., Pierfederici, S., Maranzana, G., & Didierjean, S. (2021). Series hybrid fuel cell/supercapacitor power source. *Mathematics and Computers in Simulation*, 184, 21–40. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2020.02.001>

Solar, J. S. E., & Instalación, S. (2020). *Flywheels: Almacenamiento de energía cinética o inercial | KeeUI Solar*. 1–12. <https://keeu.com/2020/12/23/flywheels-almacenamiento-de-energia-cinetica-inercial/>

Sousounis, M. C., Shek, J. K. H., & Sellar, B. G. (2019). The effect of supercapacitors in a tidal current conversion system using a torque pulsation mitigation strategy. *Journal of Energy Storage*, 21(November 2018), 445–459. <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.11.032>

Supe, H., Avtar, R., Singh, D., Gupta, A., Yunus, A. P., Dou, J., Ravankar, A. A., Mohan, G.,



- Chapagain, S. K., Sharma, V., Singh, C. K., Tutubalina, O., & Kharrazi, A. (2022). *Soaking Up Sun in the Thar Desert*. Remote Sensing.
- Tummuru, N. R., Mishra, M. K., & Srinivas, S. (2015). Dynamic Energy Management of Renewable Grid Integrated Hybrid Energy Storage System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(12), 7728–7737. <https://doi.org/10.1109/TIE.2015.2455063>
- Victoria Petrescu, R., Aversa, R., Apicella, A., Ion Tiberiu Petrescu, F., Victoria, R. V, Ion, F. T., Victoria Petrescu, R. V, Raffaella, A., Antonio, A., & Ion Petrescu, F. T. (2017). *Green Energy Production PERMANENT GREEN ENERGY PRODUCTION Permanent Green Energy Production PERMANENT GREEN ENERGY PRODUCTION*. April. <http://www.altenergymag.com/article/2017/04/permanent-green-energy-production/25973>
- Walker, S., & Thies, P. R. (2021). A review of component and system reliability in tidal turbine deployments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151(July), 111495. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111495>
- Wang, X., Yu, D., Le Blond, S., Zhao, Z., & Wilson, P. (2017). A novel controller of a battery-supercapacitor hybrid energy storage system for domestic applications. *Energy and Buildings*, 141, 167–174. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.041>
- Zhou, Z., Benbouzid, M., Frédéric Charpentier, J., Scuiller, F., & Tang, T. (2013). A review of energy storage technologies for marine current energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 390–400. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.006>