

Almacenamiento del calor solar: una tecnología para el suministro energético continuo

Luis Adrián López Pérez¹ y Armando Huicochea Rodríguez^{1*}

¹ Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas,
Universidad Autónoma del Estado de Morelos

* Dirección para correspondencia: huico_chea@uaem.mx

La irradiancia solar que llega a la superficie terrestre es de alrededor de 86,000 TW (Lindsey, 2009). Sin embargo, la noche, las nubes y las estaciones hacen que esta enorme fuente de energía sea intermitente y escasamente aprovechada. ¿Y si pudiéramos almacenar el calor del sol como si fuera agua en una presa?

El Sistema de Almacenamiento de Calor Solar (SACS) es una tecnología desarrollada para capturar, concentrar y acumular la energía solar en forma de calor en un fluido o sólido con niveles térmicos de 70 a 800 °C (Khan *et al.*, 2022). Esta tecnología puede ser usada en días nublados y durante la noche, y por ello, el SACS ayuda a reducir la dependencia de combustibles fósiles y la contaminación ambiental, logrando un suministro constante de calor para la generación eléctrica, procesos industriales y climatización de edificios, entre otros. Estos sistemas tienen muchas ventajas que los posicionan como una solución estratégica para la transición hacia energías más limpias. Una de ellas es el suministro de energía continuo, como en la planta Gemasolar, instalada en Sevilla, España, que puede alcanzar hasta 18 horas de autonomía sin radiación solar (Fritsch *et al.*, 2019). Además, ofrecen un costo de almacenamiento reducido en periodos de uso

mayores a 10 horas, gracias a que los materiales usados como agua, sales fundidas o rocas son más económicos que las baterías de ion-litio (Jacob *et al.*, 2023). Los SACS pueden almacenar mucha energía, alcanzando hasta 150 MW a 565 °C y generar hasta 500 GWh de electricidad, es decir, la suficiente energía para abastecer 120,000 hogares (Benbba *et al.*, 2024). Además, se destacan por su versatilidad industrial, ya que el calor almacenado puede usarse directamente en procesos de alta temperatura o en sistemas de calefacción distrital. Las sales fundidas, ampliamente utilizadas, son químicamente estables y soportan múltiples ciclos térmicos sin degradación significativa. Finalmente, su tecnología base es fiable y ampliamente implementada a nivel mundial, lo que favorece su adopción y desarrollo (Khan *et al.*, 2022).

Funcionamiento

Un SACS opera en un circuito cerrado, integrado por un campo de colectores solares, un tanque de almacenamiento, un intercambiador de calor, un calentador auxiliar, bombas de circulación y válvulas de control (Figura 1). El campo de colectores solares calienta un fluido (agua o refrigerante) mediante la irradiancia solar. El tanque de almacenamiento, que generalmente es un cilindro metálico aislado, acumula el calor en materiales como agua, sales fundidas o materiales de cambio de fase. Las bombas impulsan el fluido entre los componentes, mientras que las válvulas regulan el caudal y la presión del fluido. El intercambiador de calor

traslada el calor mediante el paso de un líquido al sistema de uso final, y el calentador auxiliar, eléctrico o de combustión, aumenta la temperatura del fluido en periodos de baja irradiancia solar, hasta alcanzar la temperatura requerida.

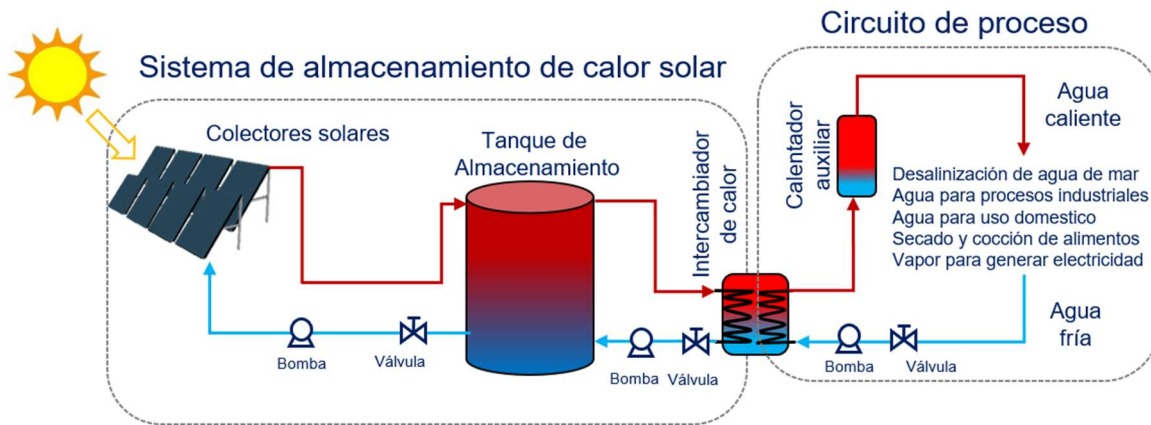


Figura 1. Componentes principales de un sistema de almacenamiento de calor solar. Esta tecnología busca asegurar el uso continuo del calor solar en una amplia variedad de aplicaciones, que van desde la calefacción de edificios de viviendas hasta la generación de electricidad con vapor sobrecalentado.

El núcleo del sistema

El campo de colectores solares y el tanque de almacenamiento son el núcleo del SACS (López-Pérez y Huicochea, 2025). El campo de colectores solares puede ser de placa plana, tubos de vacío o concentradores (Figura 2). Los colectores de placa plana y tubos de vacío capturan la radiación solar para calentar un fluido (agua, aire o anticongelante) que circula por una placa absorbidora oscura. La ventaja principal de estos dispositivos es su alta eficiencia térmica de hasta un 80 %, debido a que

convierten directamente la radiación solar en calor sin pérdidas por conversión energética intermedia. Estos colectores alcanzan temperaturas de hasta $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que son utilizados para aplicaciones de baja y media temperatura como calefacción, agua caliente sanitaria y procesos industriales. Los concentradores solares utilizan espejos o lentes para concentrar los rayos solares en un área pequeña, generando temperaturas superiores a los $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este calor intenso produce vapor para generar electricidad a gran escala, con eficiencias en la conversión a energía eléctrica que rondan entre el 30 % y el 40 % (dependiendo del diseño y la tecnología). Los concentradores solares requieren grandes extensiones de terreno y suelen emplearse en plantas de energía solar térmica.



Figura 2. Componentes de un colector solar de placa plana (izquierda) y de un concentrador de espejos (derecha). Los colectores solares calientan un fluido caloportador (agua o refrigerante) mediante la irradiancia solar.

El tanque de almacenamiento térmico es el componente que permite aprovechar el calor solar continuamente (Figura 1). Los materiales utilizados en este componente varían según el mecanismo de almacenamiento y el rango de

temperatura (Tabla 1) (Khan *et al.*, 2022). Para almacenar calor a temperaturas de hasta 100 °C, se utiliza agua y parafinas. Para temperaturas de hasta 300 °C, se utiliza hormigón y sales fundidas, como nitratos de sodio y potasio ($\text{NaNO}_3/\text{KNO}_3$). Para temperaturas de entre 200 y 500 °C, se utilizan materiales reactivos como hidróxido de calcio, zeolitas o silicagel. Finalmente, para temperaturas de hasta 800 °C, se utilizan sales ternarias (Li, Na, K) y aire comprimido.

Aplicaciones

Los SACS tienen una amplia variedad de aplicaciones, que van desde la calefacción de edificios de viviendas hasta la generación de electricidad con vapor sobrecalentado (Tabla 1). Para aplicaciones de agua caliente sanitaria, calefacción y climatización de piscinas, se utiliza agua almacenada en tanques convencionales o en acuíferos subterráneos, aprovechando su bajo costo, disponibilidad y pérdidas térmicas controladas. En sistemas de climatización y refrigeración solar se utilizan parafinas, sales hidratadas o metales eutécticos, ya que ofrecen mayor densidad energética. En procesos industriales, se emplean sales fundidas de baja pureza, cerámicos o hormigón, debido a que aportan estabilidad térmica y resistencia a ciclos repetidos. En plantas de energía solar por concentración, se requieren sales ternarias (Li, Na, K) o aire comprimido, capaces de alcanzar temperaturas elevadas. Finalmente, para el almacenamiento estacional o a largo plazo, se utilizan

soluciones termoquímicas de hidróxido de calcio, zeolitas o silicagel, las cuales permiten altas densidades de energía con pérdidas mínimas.

Clasificación	Tipo	Materiales/Medio	Especificaciones Técnicas	Aplicaciones
Por mecanismo	Calor sensible	Agua, sales fundidas ($\text{NaNO}_3/\text{KNO}_3$), hormigón	<ul style="list-style-type: none"> Densidad energética: 10-100 kWh/m³. Temperatura de operación: 100 °C (agua) a 565 °C (sales) Eficiencia: 50-80 % 	Plantas de concentración solar de potencia, calefacción central, procesos industriales
	Calor latente	Parafinas, sales hidratadas, metales eutécticos	<ul style="list-style-type: none"> Densidad energética: 50-150 kWh/m³. Temperatura de operación: 0-300 °C 	Climatización, refrigeración solar, estabilización térmica en edificios
	Termoquímico	Hidróxido de calcio, zeolitas, silicagel	<ul style="list-style-type: none"> Densidad energética: hasta 500 kWh/m³ Temperatura de operación: 200-500 °C Estado: Experimental 	Almacenamiento a largo plazo sin pérdidas, aplicaciones industriales en desarrollo
Por temperatura	Baja (<150 °C)	Tanques de agua, Almacenamiento subterráneo (acuíferos)	<ul style="list-style-type: none"> Capacidad: 500 L a 10,000 m³ Pérdidas térmicas: <5 % diarias 	Agua caliente sanitaria residencial, calefacción, climatización de piscinas
	Media (150-300 °C)	Sales fundidas de baja pureza, cerámicos	<ul style="list-style-type: none"> Densidad energética: 60-120 kWh/m³ Resistencia: Ciclos térmicos repetidos 	Procesos industriales (lavanderías, pasteurización), redes urbanas
	Alta (>300 °C)	Sales ternarias (Li, Na, K), Aire comprimido	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura de operación: hasta 800 °C Eficiencia: 30-40 % (conversión a electricidad) 	Plantas de concentración solar de potencia, siderurgia, generación eléctrica
Por duración	Corto plazo (horas/días)	Tanques aislados, Materiales de cambio de fase	<ul style="list-style-type: none"> Pérdidas térmicas: <5 % diarias Compactibilidad: Diseños modulares 	Climatización nocturna, demanda eléctrica puntual
	Largo plazo (estacional)	Almacenamiento en acuíferos, Almacenamiento en pozos	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia: 50-70 % Capacidad: Meses de almacenamiento 	Equilibrio de demanda energética anual, calefacción/refrigeración estacional

Tabla 1. Clasificación de SACS según su mecanismo, rango de temperatura y materiales utilizados (Khan *et al.*, 2022). Además, se presentan sus aplicaciones en sectores como climatización, procesos industriales y generación eléctrica.

Una aplicación real es la planta termosolar Gemasolar en Andalucía, Sevilla, España, destacada por su eficacia y operatividad de los SACS (Fritsch *et al.*, 2019). Esta central termosolar utiliza una tecnología de receptor central en torre,

generando 110 GWh anuales de energía eléctrica. Su campo solar tiene 2,650 heliostatos, que reflejan y dirigen la luz solar al tanque de almacenamiento, localizado en una torre a 140 metros de altura. Su sistema de almacenamiento térmico consiste en sales fundidas (60 % NaNO_3 , 40 % KNO_3), y alcanzan temperaturas de hasta 565 °C. Esta configuración, con su sistema de control automatizado, logra hasta 18 horas de suministro eléctrico continuo sin radiación solar, abasteciendo a 27,500 hogares y evitando alrededor de 30,000 toneladas de emisiones de CO_2 anuales. Sin embargo, la planta requirió una inversión de 419 millones de dólares, equivalente a 33 dólares por cada watt instalado.

Desafíos de los SACS

Los SACS enfrentan desafíos que debemos resolver para aprovechar todo su potencial, principalmente relacionados con sus materiales y las condiciones operativas (Prabhu y Sawant, 2024). Un problema habitual son las pérdidas de calor en tuberías e intercambiadores, lo que reduce la eficiencia del sistema. Los SACS que emplean sales fundidas requieren de calentadores auxiliares para mantener una temperatura estable y evitar que se solidifiquen, lo que incrementa los costos. Un reto importante es la corrosión, que se intensifica a temperaturas superiores a 600 °C, comprometiendo la vida útil del sistema.

Adicionalmente, demandan considerables volúmenes de almacenamiento, lo que puede representar una limitación en términos de espacio. Las tecnologías más

avanzadas, como el almacenamiento termoquímico, se enfrentan a desafíos como la baja conductividad térmica en materiales de cambio de fase, problemas de estabilidad química y costos elevados de implementación. En conjunto, estos factores representan barreras críticas para lograr que los SACS sean más eficientes y accesibles.

Panorama actual del SACS en México

Para fomentar la transición energética, el Gobierno Federal, a través de la Comisión Federal de Electricidad, está impulsando decididamente la Concentración Solar de Potencia (CSP) con almacenamiento térmico, con una inversión de 800 millones de dólares en dos centrales termosolares en Baja California Sur para garantizar el suministro eléctrico de hasta 12 horas de autonomía, utilizando SACS con sales fundidas (Gobierno de México, 2025). Paralelamente, en el sector privado predominan los Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías (BESS, por sus siglas en inglés). Esto se debe a que la Ley de Transición Energética, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de diciembre de 2015, exige que los nuevos proyectos renovables cuenten con al menos un 30 % de capacidad de almacenamiento, lo que ha favorecido las baterías frente al almacenamiento térmico. Esta medida, aunque bien intencionada, pone en desventaja a los SACS, a pesar de que pueden proveer energía durante periodos mucho más largos, de hasta 18 horas los SACS frente a las 4 horas de los BESS (Elalfy *et al.*, 2024). En

el sector industrial, nuestro país cuenta con más de 83 plantas que ya utilizan calor solar, principalmente en la industria alimentaria (Sánchez y Torres, 2020). Sin embargo, la adopción de los SACS sigue siendo limitada, debido a los altos costos iniciales asociados y la competencia con gas natural. La implementación de los SACS en México depende en gran medida de que el marco regulatorio reconozca las ventajas que ofrece esta tecnología para la descarbonización industrial. En este sentido, se requiere la creación de incentivos específicos y mecanismos que reconozcan la importancia del almacenamiento térmico de larga duración.

Conclusiones

Los sistemas de almacenamiento de calor solar emergen como una tecnología clave para la transición energética en nuestro país, particularmente para aplicaciones que requieren un suministro de calor continuo como procesos industriales, sistemas de generación eléctrica y calefacción. Estos sistemas ofrecen ventajas tecnológicas y económicas significativas comparadas con las baterías de ion-litio, particularmente para el almacenamiento de larga duración. Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos técnicos y económicos como pérdidas de calor, corrosión a altas temperaturas, necesidad de grandes volúmenes de almacenamiento y elevados costos iniciales. En nuestro país, el panorama de esta tecnología es alentador pero inconsistente, a causa del bajo costo del gas natural y un marco regulatorio que prioriza el almacenamiento de energía eléctrica en baterías. La consolidación de los

SACS en México depende en gran medida de superar las barreras técnicas mediante investigación y desarrollo, y de implementar políticas energéticas que reconozcan y aprecien su capacidad única para suministrar energía gestionable de larga duración. Esta característica es esencial para la transición hacia un sistema energético descarbonizado y fiable, donde el SACS pueda desempeñar un papel estratégico y complementario frente a otras tecnologías renovables.

Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por su respaldo financiero para llevar a cabo este trabajo.

Referencias

Benbba R, Barhdadi M, Ficarella A *et al.* (2024). Solar Energy Resource and Power Generation in Morocco: Current Situation, Potential, and Future Perspective. *Resources* 13:1–38.

Elalfy DA, Gouda E, Kotb MF *et al.* (2024). Comprehensive review of energy storage systems technologies, objectives, challenges, and future trends. *Energy Strategy Reviews* 54: 101482.

Fritsch A, Frantz C and Uhlig R (2019). Techno-economic analysis of solar thermal power plants using liquid sodium as heat transfer fluid. *Solar Energy* 177:155–162.

Gobierno de México (2025). México a la vanguardia: CFE construirá 2 centrales termosolares en Baja California Sur para beneficiar hasta 200 mil hogares. Recuperado de: <https://www.gob.mx/presidencia/prensa/mexico-a-la-vanguardia-cfe-construira-2-centrales-termosolares-en-baja-california-sur-para-beneficiar-hasta-200-mil-hogares>. Consultado el 27 de octubre de 2025.

Jacob R, Hoffmann M, Weinand JM *et al.* (2023). The future role of thermal energy storage in 100 % renewable electricity systems. *Renewable and Sustainable Energy Transition* 4:100059.

Khan MI, Asfand F and Al-Ghamdi SG (2022). Progress in research and technological advancements of thermal energy storage systems for concentrated solar power. *Journal of Energy Storage* 55:105860.

López-Pérez LA and Huicochea A (2025). Solar-powered absorption heat transformer: energy performance assessment in dry climates. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 47:320.

Lindsey R (2009). Climate and Earth's Energy Budget. Recuperado de: <https://Earthobservatory.Nasa.Gov/Features/EnergyBalance>. Consultado el 28 de octubre de 2025.

Prabhu P and Sawant S (2024). Solar Thermal Energy Storage Technology: Current Trends. In *Techno-Societal 2022* (pp. 429-437). Springer International Publishing.

Sánchez I y Torres R (2020). *Calor solar para procesos industriales: estudio de potencial en la industria de conservas alimenticias en México*. México: Cámara Nacional de la Industria de Conservas Alimenticias.