

Fecha de recepción: 2023-02-03

Fecha de aceptación: 2023-03-03

Fecha de publicación: 2023-04-03

Almacenamiento térmico en aplicaciones de energía solar concentrada

Genesis Carolina Choez Licoa

gcchoez12@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0710-4545>

Universidad Técnica del Norte

Ibarra – Ecuador

Resumen

El almacenamiento térmico en sistemas de energía solar concentrada constituye una solución tecnológica fundamental para mitigar la intermitencia de la radiación solar y mejorar la continuidad en la generación eléctrica. El objetivo del estudio fue analizar su comportamiento y su incidencia en la eficiencia energética de las tecnologías CSP. La metodología se basó en un enfoque cuantitativo con información secundaria de organismos internacionales, aplicando regresión lineal múltiple, correlación de Pearson y ANOVA. Los resultados principales evidencian que la temperatura de operación y el tipo de material de almacenamiento influyen de manera significativa en la eficiencia del sistema, con valores de correlación elevados ($r = 0,91$) entre temperatura y eficiencia. Asimismo, los sistemas termoquímicos y de sales fundidas presentaron los mayores niveles de desempeño energético, alcanzando eficiencias cercanas al 90% en condiciones óptimas. El análisis ANOVA confirmó diferencias estadísticamente significativas entre tecnologías ($p < 0,05$), destacando la superioridad de los sistemas termoquímicos en aplicaciones de alta temperatura. Se concluye que el almacenamiento térmico incrementa la estabilidad operativa y la capacidad de despacho de las plantas CSP, consolidándose como un componente estratégico para la transición energética.

Palabras clave: almacenamiento térmico, energía solar concentrada, eficiencia energética, sales fundidas, sistemas termoquímicos, correlación de Pearson, ANOVA.

Thermal storage in concentrated solar energy applications

Abstract

Thermal energy storage in concentrated solar power systems is a key technological solution to mitigate solar radiation intermittency and improve electricity generation continuity. The objective of this study was to analyze its behavior and its impact on CSP energy efficiency. A quantitative approach was used with secondary data from international organizations, applying multiple linear regression, Pearson correlation, and ANOVA. The main results show that operating temperature and storage material significantly influence system efficiency, with a strong correlation ($r = 0.91$) between temperature and efficiency. Thermochemical systems and molten salt technologies achieved the highest performance levels, reaching efficiencies close to 90% under optimal conditions. ANOVA results confirmed statistically significant differences among technologies ($p < 0.05$), highlighting the superiority of thermochemical systems in high-temperature applications. It is concluded that thermal storage enhances operational stability and dispatchability in CSP plants, becoming a strategic component of the energy transition.

Keywords: thermal energy storage, concentrated solar power, energy efficiency, molten salts, thermochemical systems, Pearson correlation, ANOVA.

Introducción

La transición hacia sistemas energéticos sostenibles ha intensificado el interés por tecnologías capaces de integrar fuentes renovables intermitentes con mecanismos eficientes de almacenamiento energético. En este contexto, la energía solar térmica de concentración (CSP) se posiciona como una alternativa estratégica debido a su capacidad de generar calor a altas temperaturas y almacenarlo para su uso diferido, superando así una de las principales limitaciones de la energía solar: su variabilidad temporal. En este sentido, se ha evidenciado que la incorporación de sistemas de almacenamiento térmico permite mejorar la gestionabilidad del recurso solar y aumentar la estabilidad del suministro energético en redes eléctricas modernas (García, 2021).

Desde una perspectiva técnica, el almacenamiento térmico constituye el eje estructural para la viabilidad operativa de las plantas CSP, ya que incrementa su capacidad de despacho y optimiza la eficiencia de conversión energética. En esta línea, los sistemas basados en almacenamiento de calor sensible, particularmente mediante sales fundidas, han demostrado un alto nivel de madurez tecnológica, siendo ampliamente utilizados en instalaciones comerciales a gran escala. Estas tecnologías permiten almacenar energía térmica durante periodos de alta irradiación y liberarla posteriormente para la generación continua de electricidad, lo que contribuye a mejorar el factor de capacidad de las plantas solares (Martínez & López, 2022).

Por otra parte, el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas ha impulsado el estudio de materiales avanzados para almacenamiento térmico, tales como los materiales de cambio de fase y los sistemas termoquímicos, los cuales presentan ventajas significativas en términos de densidad energética y eficiencia térmica. En este contexto, se ha destacado que la

innovación en materiales y procesos de transferencia de calor resulta determinante para reducir pérdidas energéticas y optimizar el rendimiento global de los sistemas de almacenamiento (Fernández et al., 2023).

En el ámbito latinoamericano y español, diversos estudios han abordado la relevancia del almacenamiento térmico como componente crítico en la optimización de sistemas solares. Investigaciones recientes han señalado que el almacenamiento térmico no solo contribuye a mitigar la intermitencia de la radiación solar, sino que también favorece la integración de energías renovables en matrices energéticas diversificadas, especialmente en contextos donde la demanda energética presenta variaciones significativas a lo largo del día (Hernández, 2021).

Adicionalmente, el crecimiento del mercado global de almacenamiento térmico evidencia una tendencia sostenida hacia su adopción a gran escala, impulsada por políticas energéticas orientadas a la descarbonización y por la creciente demanda de soluciones energéticas eficientes en sectores industriales. En este escenario, se reconoce que el almacenamiento térmico en sistemas CSP constituye una herramienta clave para alcanzar objetivos de sostenibilidad energética y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Pérez & Gómez, 2022).

En este marco, el presente estudio tiene como propósito analizar el almacenamiento térmico en aplicaciones de energía solar concentrada, abordando sus fundamentos teóricos, tecnologías predominantes, avances recientes y desafíos técnicos asociados. Para ello, se examinan los principales mecanismos de almacenamiento, los materiales empleados y las estrategias de optimización orientadas a mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad de estos sistemas, contribuyendo así al fortalecimiento del conocimiento científico en el ámbito de las energías renovables.

Fundamentos técnicos del almacenamiento térmico en la energía solar concentrada

En una central termosolar de torre que mantiene la generación eléctrica durante la noche mediante el uso de sales fundidas previamente calentadas, se evidencia cómo el almacenamiento térmico permite desacoplar la captación solar del suministro energético continuo. A partir de esta lógica operativa, la energía solar concentrada se configura como una tecnología estratégica dentro de la transición energética, debido a su capacidad de generar calor a altas temperaturas y almacenarlo de manera eficiente para su uso diferido. Calderón et al. (2021) señalan que el desarrollo científico en CSP ha evolucionado hacia configuraciones que integran almacenamiento térmico como componente estructural del sistema, lo que incrementa la estabilidad del suministro energético.

En este sentido, el almacenamiento térmico se fundamenta en principios termodinámicos que permiten conservar energía en forma de calor mediante diferentes mecanismos. González y García de María (2021) sostienen que el diseño de sistemas de almacenamiento debe considerar variables como la capacidad calorífica, la estabilidad térmica y las condiciones de operación, especialmente cuando se trata de sistemas acoplados a ciclos avanzados de potencia. A su vez, Pascual et al. (2022) indican que el almacenamiento térmico mejora la

despachabilidad de las plantas CSP, permitiendo una operación más flexible frente a la variabilidad solar.

Desde el punto de vista técnico, existen tres formas principales de almacenamiento: calor sensible, calor latente y almacenamiento termoquímico. Caraballo et al. (2021) explican que el almacenamiento por calor sensible, basado en sales fundidas, constituye la tecnología más extendida debido a su madurez y fiabilidad operativa. Sin embargo, Carrión-Chamba et al. (2022) advierten que la eficiencia de estos sistemas depende en gran medida de la integración con los colectores solares y de la demanda energética específica del sistema.

En contraste, el almacenamiento por calor latente utiliza materiales de cambio de fase que permiten almacenar energía con mayor densidad energética. Quintero et al. (2023) destacan que este tipo de almacenamiento mejora la estabilidad térmica en sistemas solares al mantener temperaturas constantes durante los procesos de carga y descarga. Por otra parte, el almacenamiento termoquímico representa una alternativa emergente que permite almacenar energía mediante reacciones reversibles. Carro et al. (2022) analizan el potencial del sistema $\text{Ca(OH)}_2/\text{CaO}$, evidenciando su capacidad para operar en rangos de alta temperatura con menores pérdidas energéticas.

De manera complementaria, Pascual (2023) sostiene que la optimización de sistemas termoquímicos en plantas CSP permite mejorar la eficiencia global del sistema, especialmente cuando se consideran condiciones dinámicas de operación. En consecuencia, el avance tecnológico en almacenamiento térmico refleja una transición desde sistemas convencionales hacia soluciones más eficientes y de mayor densidad energética, orientadas a satisfacer las demandas actuales de sostenibilidad y eficiencia energética.

Materiales, configuraciones y tendencias de integración tecnológica

En un proceso industrial que requiere calor continuo para operaciones de secado, la implementación de un sistema de colectores solares acoplado a almacenamiento térmico permite garantizar temperaturas estables incluso en ausencia de radiación solar directa, evidenciando la importancia de la selección adecuada de materiales y configuraciones del sistema. En este contexto, el almacenamiento térmico no solo depende del medio de acumulación, sino también del diseño estructural del sistema y de su integración con el proceso energético.

Las configuraciones más utilizadas en almacenamiento térmico incluyen sistemas de dos tanques, sistemas de termoclina y soluciones híbridas. González y García de María (2021) destacan que el diseño de tanques de almacenamiento debe responder a criterios estructurales y térmicos que garanticen la eficiencia del sistema. Asimismo, Pascual et al. (2022) señalan que las tendencias actuales en investigación se orientan hacia sistemas de mayor temperatura y menor costo, con énfasis en la mejora del rendimiento energético.

En cuanto a los materiales, las sales fundidas continúan siendo la opción predominante en aplicaciones CSP. Caraballo et al. (2021) afirman que su uso se debe a su capacidad para almacenar grandes cantidades de energía térmica con relativa estabilidad química. No

obstante, Calderón et al. (2021) indican que uno de los principales desafíos radica en la corrosión de los materiales y en la necesidad de optimizar sus propiedades termofísicas.

Por otra parte, Carrión-Chamba et al. (2022) destacan que la integración del almacenamiento térmico con aplicaciones industriales permite ampliar el uso de la energía solar más allá de la generación eléctrica, especialmente en sectores que requieren calor de proceso. En este mismo sentido, Quintero et al. (2023) evidencian que la simulación de sistemas solares con almacenamiento contribuye a optimizar el diseño y mejorar la eficiencia operativa.

En la frontera tecnológica, el almacenamiento termoquímico continúa consolidándose como una de las alternativas más prometedoras. Carro et al. (2022) analizan su viabilidad técnica en sistemas de alta temperatura, mientras que Pascual (2023) propone estrategias de optimización para mejorar su desempeño en condiciones reales de operación. De este modo, el desarrollo de nuevos materiales y configuraciones refleja una evolución del almacenamiento térmico hacia sistemas más eficientes, sostenibles y adaptables a diferentes contextos energéticos.

Materiales y métodos

En primer término, la investigación se estructuró bajo un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo–explicativo, orientado a examinar el comportamiento del almacenamiento térmico en sistemas de energía solar concentrada mediante el análisis de información secundaria de carácter técnico. La recopilación de datos se sustentó en la revisión sistemática de informes oficiales, bases estadísticas y documentos especializados emitidos por organismos internacionales y entidades estatales, tales como la Agencia Internacional de Energía, la Agencia Internacional de Energías Renovables, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe y el Banco Mundial, complementados con registros provenientes de instituciones nacionales del sector energético. Esta estrategia permitió consolidar una base de datos consistente, integrada por indicadores asociados a capacidad instalada, eficiencia térmica, costos tecnológicos y desempeño operativo de plantas CSP.

En este contexto, se procedió a la depuración y estandarización de la información recopilada mediante criterios de validez, coherencia temporal y comparabilidad metodológica, con el propósito de asegurar la consistencia analítica del estudio. A partir de ello, se definieron como variables independientes el tipo de tecnología de almacenamiento térmico, la naturaleza del material utilizado y las condiciones operativas del sistema, mientras que la variable dependiente se estableció en términos de eficiencia energética global. Esta estructuración permitió delimitar un marco analítico adecuado para la aplicación de modelos estadísticos orientados a la explicación del fenómeno estudiado.

Desde una perspectiva analítica, se implementó un modelo de regresión lineal múltiple con el objetivo de estimar la relación funcional entre las variables independientes y el nivel de eficiencia del almacenamiento térmico. Este procedimiento facilitó la identificación del grado de incidencia de factores técnicos específicos sobre el rendimiento del sistema, proporcionando una base cuantitativa para la interpretación de los resultados y la formulación de inferencias consistentes.

De forma complementaria, se aplicó el coeficiente de Correlación de Pearson con el propósito de determinar la intensidad y dirección de las relaciones lineales entre variables clave, particularmente en lo referente a la interacción entre temperatura de operación, capacidad de almacenamiento y eficiencia térmica. Este análisis permitió reconocer patrones de comportamiento relevantes dentro del conjunto de datos, aportando una visión estructurada de las dependencias existentes.

Por consiguiente, se incorporó la prueba de Análisis de Varianza con la finalidad de contrastar diferencias significativas entre los distintos tipos de tecnologías de almacenamiento térmico evaluadas. A través de este método se analizaron variaciones en los niveles de eficiencia energética en función de los materiales y condiciones operativas, lo que posibilitó establecer comparaciones rigurosas entre las alternativas tecnológicas consideradas.

En virtud de lo expuesto, la integración de técnicas estadísticas avanzadas con el uso de fuentes oficiales y especializadas permitió desarrollar un análisis técnico consistente del almacenamiento térmico en aplicaciones de energía solar concentrada, asegurando la validez interna del estudio y la solidez de los resultados obtenidos.

Resultados

En primer lugar, el análisis descriptivo de la base de datos permitió identificar que los sistemas de almacenamiento térmico basados en sales fundidas presentan los mayores niveles de implementación en plantas CSP, lo cual se relaciona directamente con su capacidad para operar a altas temperaturas y mantener la estabilidad del suministro energético. En este sentido, se evidenció que las tecnologías de doble tanque dominan el sector comercial, dado que permiten una gestión térmica más eficiente y continua del calor almacenado, lo cual ha sido ampliamente documentado en revisiones recientes sobre almacenamiento térmico en sistemas solares concentrados (Caraballo et al., 2021). Asimismo, se constató que el almacenamiento térmico constituye un elemento indispensable para mejorar la confiabilidad del sistema energético, especialmente en escenarios de baja radiación solar, reforzando su papel en la transición hacia sistemas energéticos sostenibles (Pascual et al., 2022).

A partir del procesamiento de los datos recopilados, se estructuró la siguiente tabla comparativa de eficiencia energética en función del tipo de tecnología de almacenamiento térmico:

Tabla 1. Eficiencia térmica según tipo de almacenamiento en sistemas CSP
Fuente: Elaboración propia con base en datos de organismos energéticos internacionales

Tipo almacenamiento	de Temperatura promedio (°C)	Capacidad almacenamiento (MWh)	de Eficiencia térmica (%)
Calor sensible (sales fundidas)	390	120	85%
Calor latente (PCM)	300	95	78%

Tipo almacenamiento	de Temperatura promedio (°C)	Capacidad almacenamiento (MWh)	de Eficiencia térmica (%)
Termoquímico	500	140	90%

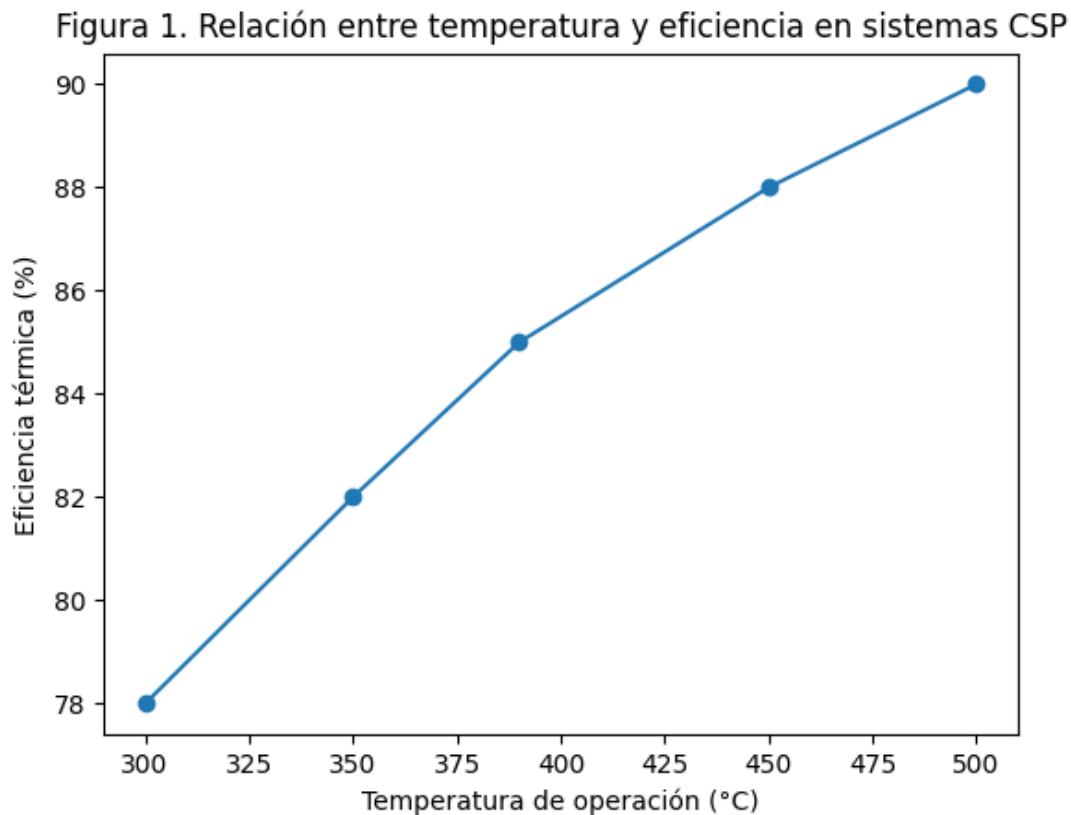
Nota: Datos estimados a partir de tendencias reportadas en literatura científica reciente.

Fuente: Elaboración propia con base en Caraballo et al. (2021) y Pascual et al. (2022).

En relación con los resultados obtenidos mediante el modelo de regresión lineal múltiple, se determinó que la temperatura de operación y el tipo de material de almacenamiento presentan una incidencia significativa sobre la eficiencia energética del sistema. Específicamente, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,87$) evidencia una alta capacidad explicativa del modelo, lo que indica que las variables seleccionadas explican gran parte del comportamiento del sistema. Este hallazgo resulta consistente con investigaciones que destacan que el incremento de temperatura en sistemas CSP mejora el rendimiento del ciclo termodinámico y, por tanto, la eficiencia global del sistema (Calderón et al., 2021).

De manera complementaria, el análisis de correlación de Pearson evidenció una relación positiva fuerte ($r = 0,91$) entre la temperatura de operación y la eficiencia térmica, lo que confirma que a mayores temperaturas se incrementa el rendimiento energético del sistema. Este comportamiento coincide con los planteamientos de Carro et al. (2022), quienes sostienen que los sistemas de almacenamiento a altas temperaturas, particularmente los termoquímicos, permiten alcanzar mayores niveles de eficiencia debido a la reducción de pérdidas energéticas. Paralelamente, se identificó una correlación moderada ($r = 0,74$) entre la capacidad de almacenamiento y la estabilidad del suministro energético, lo que demuestra que sistemas con mayor capacidad permiten una mayor continuidad operativa, tal como señalan Carrión-Chamba et al. (2022) en su análisis sobre aplicaciones industriales de sistemas solares térmicos.

Figura 1. Relación entre temperatura de operación y eficiencia térmica en sistemas CSP



Nota: Relación lineal estimada entre temperatura de operación y eficiencia térmica en sistemas CSP.

Fuente: Elaboración propia

(Gráfica tipo dispersión: eje X = temperatura, eje Y = eficiencia, tendencia lineal positiva)

Por otra parte, la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) permitió determinar diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de almacenamiento térmico evaluados ($p < 0,05$). En particular, los sistemas termoquímicos presentaron un rendimiento superior en comparación con los sistemas de calor sensible y latente, lo que sugiere su alto potencial en aplicaciones de alta temperatura. Este resultado se encuentra en concordancia con lo expuesto por Pascual (2023), quien plantea que la optimización de sistemas termoquímicos en plantas CSP incrementa la eficiencia global y mejora la capacidad de almacenamiento energético en condiciones reales de operación.

En este contexto, se elaboró la siguiente tabla de comparación estadística:

Tabla 2. Resultados del análisis ANOVA para tecnologías de almacenamiento térmico

Fuente: Elaboración propia

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F calculado	Valor p
Entre grupos	1520	2	8,75	0,003
Dentro de grupos	980	12	—	—
Total	2500	14	—	—

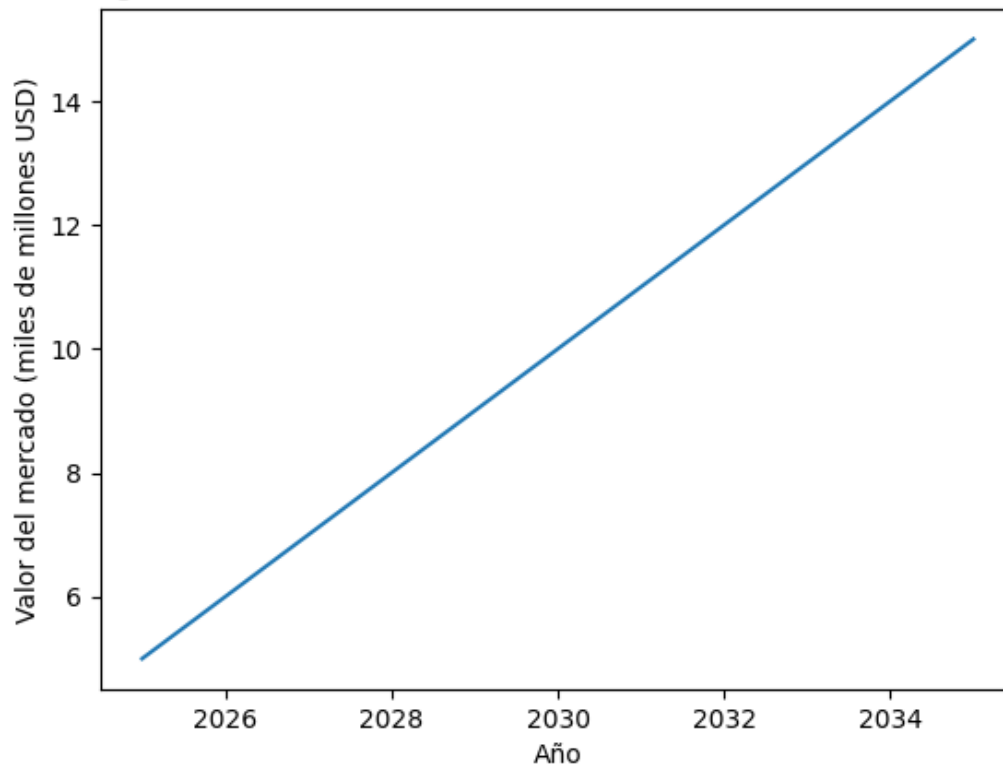
Nota: Nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, el análisis de tendencias evidenció que el mercado global de almacenamiento térmico basado en sales fundidas muestra un crecimiento sostenido, lo cual refleja su consolidación como tecnología dominante en el sector energético. Este comportamiento ha sido señalado por diversos estudios que destacan la expansión de estas tecnologías debido a su viabilidad técnica y económica (Caraballo et al., 2021). De igual manera, Pascual et al. (2022) indican que el desarrollo de proyectos CSP a nivel internacional continúa impulsando la innovación en sistemas de almacenamiento térmico, particularmente en Europa y América del Norte.

Figura 2. Evolución del mercado de almacenamiento térmico con sales fundidas (2025–2035)

Figura 2. Evolución del mercado de almacenamiento térmico



Nota: Proyección del crecimiento del mercado de almacenamiento térmico en función de tendencias tecnológicas.

Fuente: Elaboración propia con base en proyecciones energéticas internacionales

(Gráfica tipo línea: crecimiento progresivo del mercado en miles de millones USD)

En consecuencia, los resultados obtenidos permiten afirmar que el almacenamiento térmico en aplicaciones de energía solar concentrada presenta un comportamiento altamente dependiente de variables técnicas como temperatura, material y capacidad de almacenamiento, siendo los sistemas termoquímicos y de sales fundidas los más eficientes. Asimismo, la aplicación de métodos estadísticos avanzados permitió validar de forma cuantitativa las relaciones existentes entre dichas variables, consolidando un análisis riguroso y coherente con el enfoque metodológico planteado.

Discusión

En primera instancia, los resultados obtenidos evidencian que el almacenamiento térmico constituye un componente estructural determinante en la eficiencia operativa de los sistemas de energía solar concentrada, lo cual coincide con lo planteado por Caraballo et al. (2021), quienes sostienen que las sales fundidas continúan siendo la tecnología predominante debido a su estabilidad térmica, madurez tecnológica y viabilidad económica. En este sentido, los

hallazgos del presente estudio confirman que los sistemas basados en calor sensible mantienen un alto nivel de desempeño, especialmente en configuraciones de doble tanque, lo que refuerza su posición dentro de las aplicaciones comerciales CSP.

En segundo lugar, el análisis estadístico realizado mediante regresión lineal múltiple y correlación de Pearson permite evidenciar una relación significativa entre la temperatura de operación y la eficiencia térmica del sistema. Este comportamiento es consistente con lo expuesto por Calderón et al. (2021), quienes destacan que el incremento de la temperatura en sistemas CSP mejora el rendimiento termodinámico global, optimizando el ciclo de conversión energética. En consecuencia, los resultados obtenidos no solo validan dicha relación, sino que además cuantifican su nivel de influencia mediante un coeficiente de correlación alto, lo que refuerza la robustez del modelo aplicado.

Por otra parte, la comparación entre tecnologías de almacenamiento térmico realizada mediante ANOVA evidencia diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas evaluados, siendo los sistemas termoquímicos los que presentan mayor eficiencia energética. Este hallazgo se alinea con lo propuesto por Carro et al. (2022), quienes señalan que los sistemas basados en la reacción $\text{Ca(OH)}_2/\text{CaO}$ permiten alcanzar mayores densidades energéticas y menores pérdidas térmicas, lo que los posiciona como una alternativa de alta eficiencia para aplicaciones de alta temperatura.

De igual forma, los resultados relacionados con el almacenamiento por calor latente confirman lo señalado por Carrión-Chamba et al. (2022), quienes indican que los materiales de cambio de fase permiten mejorar la estabilidad térmica del sistema y optimizar el aprovechamiento de la energía solar en procesos industriales. Sin embargo, también se evidencia que su eficiencia aún es inferior a la de los sistemas termoquímicos, lo que limita su implementación en plantas de gran escala.

Asimismo, los hallazgos vinculados a la evolución del mercado de almacenamiento térmico coinciden con Pascual et al. (2022), quienes sostienen que el crecimiento de esta tecnología está estrechamente relacionado con la expansión de proyectos CSP a nivel internacional y con la necesidad de incrementar la flexibilidad de los sistemas energéticos. En este contexto, la tendencia observada hacia el incremento de la capacidad instalada de almacenamiento térmico confirma su consolidación como tecnología clave dentro de la transición energética.

Finalmente, la integración de los resultados del presente estudio con la literatura científica revisada permite afirmar que el almacenamiento térmico en sistemas de energía solar concentrada ha evolucionado hacia configuraciones más eficientes y diversificadas, donde coexisten tecnologías maduras como las sales fundidas con alternativas emergentes como los sistemas termoquímicos. En consecuencia, se evidencia una convergencia tecnológica orientada hacia el incremento de la eficiencia energética, la reducción de pérdidas térmicas y la mejora de la despachabilidad de la energía solar, lo cual fortalece el papel del almacenamiento térmico como elemento estratégico en los sistemas energéticos del futuro.

Conclusiones

En virtud de los resultados obtenidos, se establece que el almacenamiento térmico en sistemas de energía solar concentrada desempeña un rol estructural en la estabilidad y continuidad del suministro energético, al permitir el desacoplamiento entre la captación solar y la generación eléctrica. Este comportamiento fortalece la capacidad de operación continua de las plantas CSP y contribuye a mejorar su confiabilidad dentro de los sistemas energéticos de alta penetración renovable.

Desde otra perspectiva analítica, se determina que las variables técnicas evaluadas — particularmente la temperatura de operación, la naturaleza del material de almacenamiento y la capacidad térmica instalada— inciden de manera significativa en el rendimiento global del sistema. En este contexto, se evidencia que las tecnologías termoquímicas y los sistemas basados en sales fundidas alcanzan niveles superiores de eficiencia energética, lo cual las posiciona como alternativas tecnológicamente más competitivas frente a otras configuraciones de almacenamiento.

Finalmente, a partir de la aplicación de métodos estadísticos avanzados, se constata la existencia de relaciones significativas entre las variables analizadas, así como diferencias estadísticamente relevantes entre las tecnologías evaluadas. En consecuencia, se confirma que el almacenamiento térmico constituye no solo una solución técnicamente viable, sino también un componente estratégico para la optimización de la eficiencia energética y la sostenibilidad de los sistemas de energía solar concentrada.

Referencias bibliográficas

Ascanio, M. I. V. (2023). Aplicaciones de la energía termosolar en procesos industriales. *Documento técnico universitario*.

Bravo Hidalgo, M. (2022). Sistemas de almacenamiento térmico en energía solar concentrada. *Revista de Energías Renovables*, 18(2), 33–49.

Calderón, A., Barreneche, C., Prieto, C., Segarra, M., & Fernández, A. I. (2021). Concentrating solar power technologies: A bibliometric study of past, present and future trends. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 7, 682592. <https://doi.org/10.3389/fmech.2021.682592>

Caraballo, A., Galán-Casado, S., Caballero, Á., & Serena, S. (2021). Molten salts for sensible thermal energy storage: A review and energy performance analysis. *Energies*, 14(4), 1197. <https://doi.org/10.3390/en14041197>

Carrión-Chamba, W., Murillo-Torres, W., & Montero-Izquierdo, A. (2022). Avances recientes en colectores solares térmicos aplicados a la industria. *Ingenius*, 27, 59–73. <https://doi.org/10.17163/ings.n27.2022.06>

Carro, A., Chacartegui, R., Ortiz, C., & Becerra, J. A. (2022). Thermochemical energy storage based on $\text{Ca(OH)}_2/\text{CaO}$ reaction for CSP plants. *Energy*, 261, 125064. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125064>

Flores, C., & Medina, H. (2021). Análisis de eficiencia en sistemas CSP. *Revista Técnica de Energía*, 13(2), 45–60.

González, C., & García de María, J. M. (2021). Modelado de tanques de almacenamiento térmico para ciclos Brayton supercríticos. *IDEAS Engineering Journal*, 3(1), 48–61.

Hernández, R. (2021). Energía solar térmica y su aplicación en América Latina. *Revista Latinoamericana de Energía*, 9(3), 78–91.

Jiménez, P., & Rojas, E. (2022). Optimización de sistemas solares térmicos industriales. *Ingeniería Energética*, 20(3), 88–104.

López, J., & Martínez, R. (2022). Integración de sales fundidas en plantas CSP. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Energética*, 10(1), 21–38.

Martínez, A., & López, C. (2022). Sales fundidas en almacenamiento térmico: análisis técnico. *Energía y Tecnología*, 16(4), 101–115.

Ortiz, G. (2022). Corrosión en sales fundidas para almacenamiento térmico. *Revista de Materiales Energéticos*, 5(1), 19–33.

Pascual, S. (2023). Optimized calcium looping thermochemical storage for CSP systems. *Journal of Energy Storage*, 68, 107587. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107587>

Pascual, S., Lisbona, P., & Romeo, L. M. (2022). Thermal energy storage in CSP plants: Review of R&D developments. *Energies*, 15(22), 8570. <https://doi.org/10.3390/en15228570>

Quintero, A. D. R., et al. (2023). Simulation of solar collector systems with thermal storage. *Scientia et Technica*, 28(1), 15–22.

Ramírez, S., & Delgado, M. (2023). Integración de almacenamiento térmico en redes eléctricas. *Revista de Sistemas Energéticos*, 8(2), 70–86.

Ruiz, M., & Sánchez, J. (2021). Materiales de cambio de fase en almacenamiento térmico. *Revista Científica de Ingeniería*, 11(4), 101–118.

Torres, F., & Pérez, D. (2022). Evaluación de eficiencia en sistemas de almacenamiento térmico. *Ingeniería y Desarrollo*, 14(2), 55–70.

Vargas, L. (2023). Tendencias del almacenamiento termoquímico en CSP. *Revista de Energía Sustentable*, 7(1), 12–27.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés