



Almacenamiento de energía solar en sumideros térmicos

Alejandro Garza Galicia¹

Resumen

En la actualidad, se está estudiando diferentes formas de mantener la continuidad de las fuentes renovables a través pilas eléctricas; sin embargo, por su costo y huella de carbón, todavía no se alcanza la rentabilidad necesaria. Considerando la problemática que representa almacenar energía en baterías, en el presente trabajo se analiza el comportamiento térmico de cuatro diferentes sustancias, para el almacenamiento de energía solar en sumideros de calor, a través de calentamiento en un concentrador de tipo parabólico. Las sales fueron llevadas a su temperatura máxima, acorde con la radiación solar promedio de 980 Wtts/m^2 . Se describió el enfriamiento térmico, en función del tiempo y las condiciones ambientales, obteniéndose que, el carbonato de sodio resulta con un tiempo de almacenamiento de seis horas 28 minutos, a un rango de temperaturas de entre $77.5 \text{ }^\circ\text{C}$ y $112.4 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras el sulfato de sodio resultó con un tiempo menor de cuatro horas 07 minutos, a un rango de, entre 80.9 a $119 \text{ }^\circ\text{C}$. De esta forma, existe la posibilidad de utilizar estos materiales en sumideros de calor para sistemas térmicos que requieran un respaldo o ahorro de energía, manteniendo la continuidad de los procesos.

Palabras clave: almacenamiento térmico solar; calor específico; sales; cambio climático.

Introducción

El planeta está sufriendo una evolución cada vez más rápida, con el desarrollo de sistemas de comunicación, transmisión de datos, equipos de control y automatización, robótica, programación con inteligencia artificial, un acelerado incremento de las actividades industriales, ciudades en constante crecimiento urbano, parques vehiculares que rebasan las capacidades de aforo en las vías, entre otros. Los servicios de todo tipo aumentan en proporción al crecimiento

¹ Universidad del Valle de Atemajac Campus GDL, Zapopan Jalisco México. Correo: a.garza@univa.mx.



poblacional; es decir, esta sociedad está viviendo una transformación en su forma de vida; cambios que demandan más energía, mayor eficiencia, continua, sin apagones, sin variaciones de voltaje y, sobre todo, en cantidades cada vez mayores; sin embargo, este avance y desarrollo se ha visto ensombrecido porque la energía para estos procesos todavía depende, en su gran mayoría, de la combustión de carburantes fósiles, fenómeno termoquímico que permite la oxidación de un compuesto a base de carbono y nitrógeno que, ha provocado, sin duda, la aparición de grandes impactos en la salud de las personas y la biodiversidad (Ballesteros-Ballesteros y Gallego-Torres, 2019).

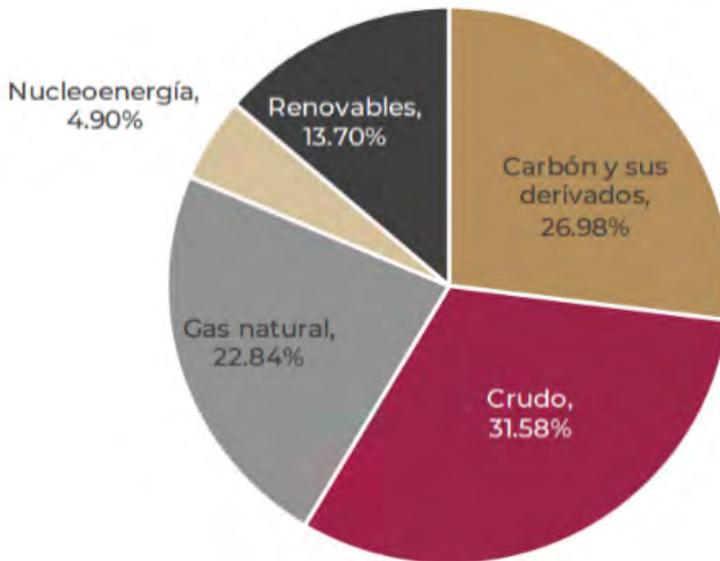
A lo largo de la historia, la utilización de los combustibles fósiles ha determinado el crecimiento y desarrollo de muchas naciones; el carbón tuvo un papel fundamental durante la revolución industrial, estableciendo la base para la movilidad y la satisfacción de las necesidades de la población en una época y así, dar paso a los primeros hidrocarburos derivados del petróleo, con la aparición de los primeros automóviles y con el avance bélico de la Primera y la Segunda Guerra Mundial, que provocó el impulso y desarrollo de la industria petroquímica que, para el año de 1960, ya había conformado grandes empresas de explotación y producción de refinados, abasteciendo los mercados internacionales y comenzando una era moderna para el desarrollo industrial que dio origen a la manufactura en serie, el desarrollo urbano y la movilidad motorizada, llegando a periodos más difíciles, con la ocupación de territorios, conflictos bélicos, control de precios y economías (Zabaloy y Guzowski, 2018).

Sin duda alguna, los fósiles han dejado y siguen dejando huella en la historia de las sociedades; en el presente, se continúa dependiendo de estos combustibles, como el gas natural en Europa, que ha escalado los costos de las tarifas eléctricas en los mercados españoles. El precio del barril sigue siendo un indicador económico para las importaciones y exportaciones; es decir se continúa con la dependencia; como ejemplo, el Gobierno de México (2020) reporta la disponibilidad de los fósiles en el contexto internacional, con más del 80 % como se ve en la Figura 1, donde prácticamente las renovables todavía no representan un peso sustancial respecto a su competidor, el petróleo. De esta forma, la transición energética se encuentra en una coyuntura todavía favorable a los fósiles, con un peso económico y político de las naciones que lo controlan y, desafortunadamente, asociado a un crecimiento de muchas economías por la utilización de estos combustibles llamados “sucios” (p. 83), como lo reporta Catalán (2021), por lo que muchos gobiernos los ven todavía como generadores de riqueza, como es el caso de México, que está construyendo una central petroquímica y adquirió otra en los Estados Unidos de Norte América.



Figura 1

Transición energética



Fuente: Gobierno de México (2020).

La complejidad del uso de los combustibles derivados del petróleo procede de una gama de problemáticas en todos los órdenes, por lo que vuelve la transición a las fuentes renovables, un enorme interrogante. A pesar de los esfuerzos de diferentes naciones y la lucha entre las políticas públicas para acelerar el proceso, la economía basada en la explotación de los hidrocarburos continúa en auge, con una industria automotriz que todavía desarrolla su cadena de suministro en el motor a gasolina, como uno de los factores más importantes que han hecho que siga predominando la hegemonía de los fósiles, aunque exista la confianza de grandes inversionistas en apostar a nuevos negocios con las energías limpias (Anser et al., 2020).

Si bien sigue existiendo una fuerza económica y política de los combustibles sucios, los analistas, grupos ambientalistas y científicos plantean en los diferentes foros, la necesidad de migrar a los sistemas de producción de energía limpios, como quedó de manifiesto en el Acuerdo de París (Naciones Unidas, 2015), donde 195 países firmaron y se comprometieron a mantener por debajo de los 2 °C el incremento de la temperatura global del planeta, provocada en gran parte por el uso de los fósiles y sus derivados. De esta manera, se establece el marco estructural para impulsar las energías limpias, a investigar para disminuir la producción de gases efecto invernadero (GEI) e instaurar el concepto de huella de carbono, como un indicador del impacto en bióxido de carbono equivalente CO₂ sobre los procesos; así, la batalla entre fósiles y renovables da un impulso a las limpias, por las graves afectaciones que han aparecido en el planeta, como el cambio climático y sus severas consecuencias de todo orden (Armesto, 2021).



Otro factor que se evidencia últimamente con más notoriedad son las enfermedades que los altos índices de contaminación en las zonas urbanas con denso tráfico han provocado, generando un bajo nivel de movilidad; un transporte público poco eficiente que hace que el uso del auto particular se intensifique y los sistemas de verificación vehicular sean de poco alcance en el control de emisiones. Se reporta una gama de padecimientos, especialmente en el sistema respiratorio y cardiovascular en niños y adultos mayores, evidencias de enfermedades en la piel, en diferentes órganos del cuerpo, atribuidas directamente a las emisiones de monóxido de carbono CO, ozono O₃, partículas PM10 y PM2.5, óxidos de nitrógeno NO_x, todos ellos derivados de la combustión de gasolina, diésel, crudo, sumados a fenómenos climatológicos como elevación de temperatura en ciudades que no padecían este fenómeno, incendios, aparición de plagas por la variación microbiológica de especies debido a la temperatura y humedad, es decir, al cambio climático; desafortunadamente, al cuantificarse, estas enfermedades reportan millones de dólares en gastos que van desde consultas, hospitalizaciones, medicamentos, hasta tratamientos que pudieron ser evitados o, al menos, haber disminuido su gravedad (Limaye et al., 2019).

El sol, el viento, el agua, la materia orgánica y el hidrógeno H se ven como una tentativa de solución a la demanda mundial, a través de los diferentes dispositivos, turbomáquinas y procesos para transformar los efectos de estos fenómenos naturales en energía, trabajo, calor, electricidad, acompañados de equipos como los calentadores y concentradores solares para producir calor para cocimiento y calentamiento, los paneles fotovoltaicos que transforman la radiación solar en electricidad, las turbinas eólicas que aprovechan la cantidad de movimiento mv^2 de las corrientes de aire y las transforman en trabajo mecánico y, posteriormente, a electricidad, muy similar a la transformación en las centrales hidráulicas que aprovechan la energía potencial del agua y la transforman en electricidad, los procesos de fermentación anaerobia y aerobia para la producción de biogás y la electrólisis para separar la molécula de hidrógeno del agua.

En efecto, ya se está utilizando estas fuentes, a través de grandes plantas solares y enormes parques eólicos, siendo estas, las más desarrolladas industrial y comercialmente; sin embargo, existe la desventaja que no son continuas en su disponibilidad, debido a los horarios y los fenómenos climatológicos, por lo que pierden competitividad frente a los fósiles (Vega, 2014). En tal virtud, se ha investigado y desarrollado, sistemas para el control de entrada y salida de estas plantas y su interconexión a los sistemas de alto voltaje; al mismo tiempo, se está analizando las posibilidades de almacenar energía en baterías o pilas, con el fin de tener continuidad de la energía en horas en las que la fuente renovable no está operando y así, aprovechar las bajas en la demanda y la disponibilidad del sol o el viento para cargarlas. Esta solución implica el procesamiento de material para la batería, fabricación y posterior disposición, cuyo mayor problema es la huella de carbono que se genera; le suma su relativo tiempo de vida y, el costo de inversión (Catalán, 2021). Se considera que, con la migración a las energías verdes, el volumen



de emisiones que provocaría el uso de baterías eléctricas pudiera ser una de las desventajas para detener su entrada y disminución en el uso de los fósiles.

Esta desventaja de la disponibilidad que se plantea en el accionar de las fuentes eólicas y solares para el almacenamiento de energía, ha redireccionado los enfoques de utilizar pilas eléctricas, a usar procesos térmicos, considerando que el proceso termodinámico del sumidero de calor es un sistema que aprovecha el aislamiento, para almacenar energía en forma de calor latente y sensible, como podría ser un termotanque de un calentador solar (Figura 2), cuyo material aislante permite mantener la temperatura del agua hasta por doce horas, utilizando poliuretano, polímero con un bajo calor específico y una conductividad térmica muy baja. En términos de almacenamiento de energía, puede ser de menor eficiencia, pero tiene la gran ventaja de un tiempo de vida muy alto; la infraestructura no es compleja como sistema de control; la inversión es menor y, su rentabilidad ambiental se estima en una muy baja huella de carbono, comparativamente con las baterías (Esteire, 2010).

Figura 2

Termotanque aislado con poliuretano



Esto ha abierto una ventana de posibilidades a los especialistas en termodinámica y físico-química, para investigar las formas de captar energía solar que se suministre al sumidero, mediante configuraciones de geometría, hidráulica, mecanismos de transferencia de calor, materiales, accesorios, sistemas de control, como lo indican Dinesh et al. (2021), Kumar et al. (2020), Jeon et al. (2013), con lo que existe la posibilidad de guardar esta energía e insertarla en los procesos térmicos, en aras de bajar los consumos eléctricos y de combustibles fósiles.



Existen diferentes planteamientos para almacenar la energía, desde la colección de la radiación solar, el tipo de equipo, los materiales, hasta el arreglo hidráulico, por lo que se planteó un esquema con base en el diseño termodinámico del sumidero, un análisis termo matemático, una valoración de la físico-química de sustancias para formar el cuerpo del sumidero, sometiendo el equipo a un flujo frío con diferentes sustancias, para realizar un análisis comparativo del funcionamiento termodinámico, que determine la mejor condición y la sustancia con funcionalidad rentable para el proceso.

Desarrollo

Sobre una base científica, el proyecto inicia con el planteamiento de la captación de la radiación solar sobre el sumidero; es decir, identificando la forma más eficiente con la cual la energía de la onda electromagnética es captada y transferida al sumidero. Los esquemas existentes van desde un colector plano, hasta sistemas esféricos o cilíndricos que requieren menor inversión (Goswami et al., 2013); sin embargo, las temperaturas no son tan altas como en sistemas móviles como la concentración solar, aunque la inversión es mayor, si se instala una instrumentación y un seguidor solar (Yilbas et al., 2016). Estos autores exponen las condiciones en las cuales el sol incrementa la temperatura de la superficie, aunque este es solo un factor, por lo que se debe considerar al sumidero, como un volumen de control, incluyendo accesorios, cuerpo y sustancia.

Los actuales sumideros de calor para almacenamiento de energía son, esencialmente, tanques de almacenamiento con recubrimiento de aislamiento; esto significa que, el cuerpo del tanque que contiene a una sustancia es revestido con un material con una conductividad térmica muy baja, como la fibra de vidrio, lana mineral o poliuretano; mientras es calentado con alguna fuente de calor, almacena la energía y, cuando se dispone la sustancia, disipa energía para el proceso (Wang et al., 2012). Este sistema sirvió como base para el sumidero planteado en este trabajo, al tener un sistema donde almacena y, al mismo tiempo, dispone de la energía. De esta forma, el principio del mismo se estableció tomando como base, las referencias de publicaciones e identificando las ventajas de la concentración solar, ya que puede alcanzar mayor temperatura y, a la vez, buscar el arreglo termodinámicamente viable para construirlo y ver las condiciones de funcionamiento.

Base de Diseño

Considerando las ventajas de la captación de energía mediante la concentración solar, se diseñó un sistema de tipo concentrador con geometría parabólica, con el cual colocar el sumidero en el foco de la parábola, para recibir la energía del sol a través del día. Sus características dimensionales fueron establecidas con el objetivo de que sirvieran a una instalación industrial constituida por una red hidráulica de calentamiento de agua de un centro deportivo y, también, que fuera una instalación de investigación científica y académica para estudiantes.



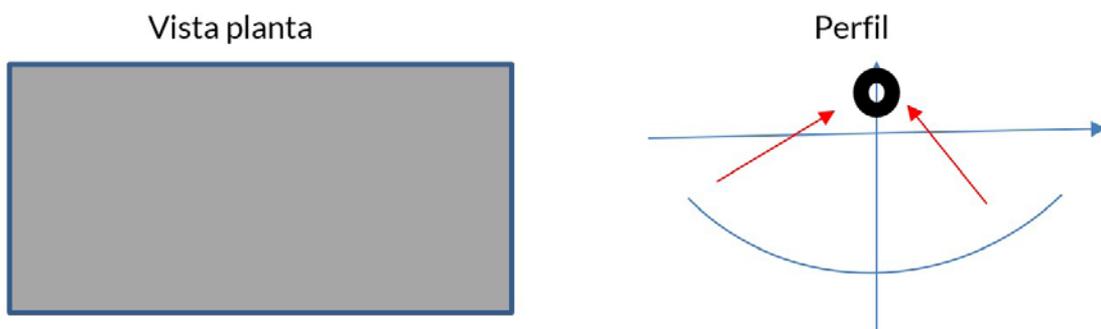
Para acoplar el diseño del concentrador solar bajo un esquema de tipo industrial y optimizar en materiales, se ajustó las dimensiones a las placas comerciales de aluminio calibre 22 acabado espejo, como se ve en la Figura 3. El marco se diseñó sobre una figura metálica que resistiera los esfuerzos del peso y la geometría parabólica; acorde al peso de la estructura, se incluyó dos soportes de refuerzos con la figura de parábola, para mantener la geometría.

Figura 3

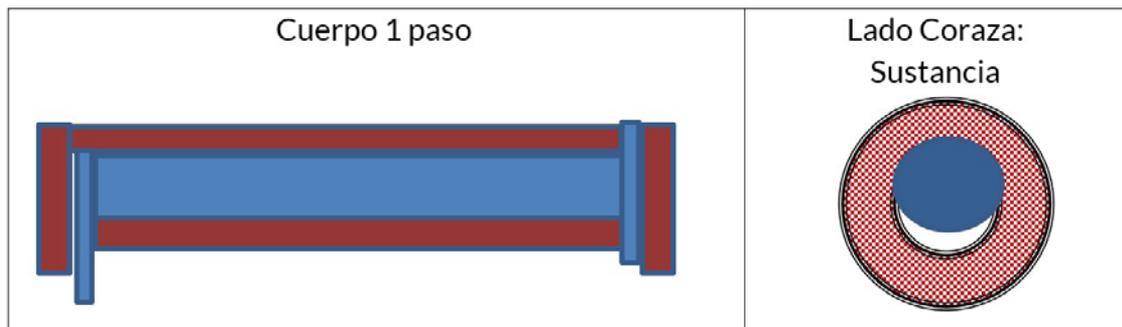
Placa de aluminio acabado espejo



Para aprovechar el máximo de radiación, el sumidero está diseñado para ser el foco de la parábola, como se aprecia en la Figura 4; es decir, el punto equidistante de todas las coordenadas que forman la parábola; de este modo, todos los vectores de la radiación inciden sobre el foco y captan la energía en forma de calor. Como se ha indicado, las configuraciones de los sumideros son diferentes, pero con baja eficiencia, por lo que se utilizó el principio del contenedor aislado, combinado con el mecanismo de transferencia de calor de intercambiador de tubos y coraza, considerando el lado de la coraza seco, con una sustancia que pueda almacenar la energía. Este tipo de dispositivos tiene una ventaja sobre los sumideros fijos: la versatilidad de drenar o hacer pasar un fluido que, generalmente, se desea calentar, mientras que el tanque se mantiene estático (Dandotiya y Banker, 2017), de suerte que, representa una flexibilidad en instalaciones industriales, al permitir manejar un flujo controlado de fluido; otro factor que se considera es el peso del intercambiador ya que, el concentrador es un sistema móvil de tipo girasol, por lo cual, adicionar masa requiere mayor potencia del actuador eléctrico para desplazar el concentrador siguiendo al sol; en este orden de ideas fue como se seleccionó el tipo de un paso en flujo unidireccional.

Figura 4*Diseño parabólico del concentrador*

Dentro de la gama de intercambiadores de calor de tubos y coraza, el tipo de un paso como se observa en la Figura 5, representa una ventaja al ser modelado más sencillamente, ya que el perfil de temperaturas se aproxima a una función lineal y, en este caso, el lado de la coraza se verá llenado de la sustancia de bajo calor específico con la cual se conforma el sumidero.

Figura 5*Intercambiador de calor: Sumidero*

La longitud del sumidero se ajustó al tamaño de la estructura del concentrador, considerando el largo del tubo. Respecto al diámetro, se atendió las medidas estándar de tuberías comerciales, para que el espacio entre el diámetro interior de la coraza y el exterior del tubo central, se inundara de la sustancia que almacena la energía del sol.

Materiales

Uno de los factores más importantes para optimizar el funcionamiento de los sistemas de almacenamiento de energía es el aislamiento; en este sentido, se ha desarrollado varias opciones que, inclusive, ya se encuentran disponibles comercialmente. En el caso del sumidero, la sustancia que va a captar la energía se considera que debe ser con un bajo calor específico C_p ; de aquí la importancia

de analizar la propiedad a presión constante, como se ve en la ecuación (1); la capacidad de transferir energía depende de la temperatura, pero, la condición de la estructura atómica define el fenómeno transitorio de la liberación de calor en función del tiempo, por lo que se toma este parámetro como eje de evaluación en el cual se establece el comparativo, probando diferentes sustancias con bajo calor específico, que proporcione un gradiente de entalpía con un diferencial de temperatura muy alto; esto hará que el valor de calor tienda a valores muy bajos.

$$C_p = \frac{\partial h}{\partial T} \dots\dots(1)$$

El trabajo de Bravo (2018) presenta un listado de sustancias viables para utilizar en almacenamiento de energía; se puede encontrar materiales pétreos utilizados en la construcción, como el cemento; algunos polímeros muy comunes de la industria química que, actualmente, son utilizados como aislantes; se menciona materiales orgánicos como fibras de algunas cactáceas (Madhi y Nsofor, 2016), la utilización de estructuras nanotecnológicas para mejorar las características de la estructura atómica de la sustancia y aumentar la ganancia de calor; sin embargo, estos materiales tienen poca eficiencia o no están disponibles, por lo que se revisó sus propiedades de sales o cristales con bajo C_p , materiales que son comercialmente disponibles como los que se observa en la Tabla 1, cuyo costo es relativo y no afectan las condiciones del acero de los tubos del sumidero:

Tabla 1

Propiedades de algunos materiales

| Sustancia | Fórmula | Densidad g/cm ³ | Aspecto | C _p | T Fusión °C |
|--------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Cloruro de calcio | CaCl ₂ | 1.55 | Extra hidratado | 1.89 kJ/kg°K | 730 |
| Fosfato bisódico | Na ₂ HPO ₄ | 1.52 | dodecahidrato | 2.01 kJ/kg°K | 540 |
| Carbonato de sodio | Na ₂ CO ₃ | 2.8 | decahidrato | 0.653 kJ/kg°K | 550 |
| Sulfato de sodio | Na ₂ SO ₄ | 2.66 | decahidrato | 30.64 cal/g-mol | 884 |

Fuente: Hojas de Seguridad.

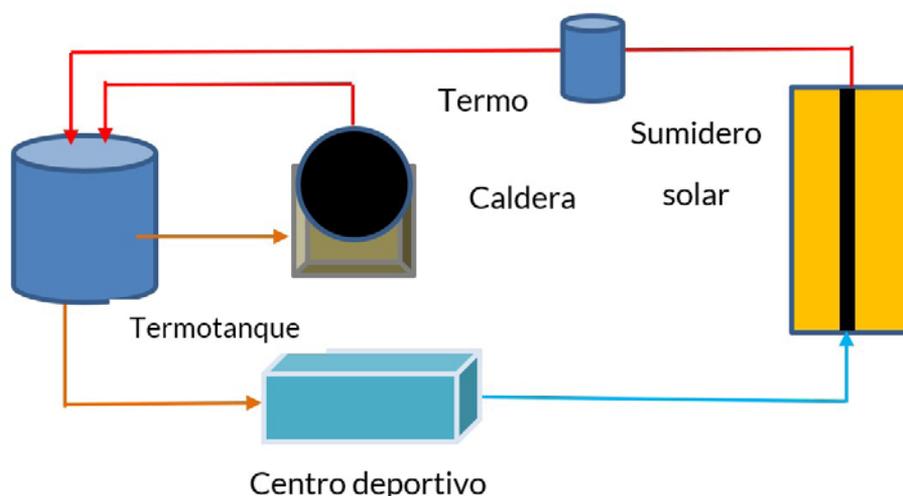
Las sustancias seleccionadas tienen un bajo calor específico y su valor es relativamente accesible en el mercado mexicano; son sustancias que hacen parte de procesos productivos de la industria química y pueden ser adquiridos en los depósitos químicos comerciales; su aspecto, en general, es parecido a las sales de cristales medianos; bajo este diseño, se plantea colocar en el intercambiador de calor, cada una de las sales, caracterizando térmicamente, como una función del tiempo.

Instalación

La Figura 6 muestra el arreglo y conexión del equipo que se instaló en el centro deportivo de una institución universitaria.

Figura 6

Arreglo y conexión del equipo



El flujo de agua se utilizará para dotar de agua caliente al centro deportivo; el funcionamiento se basa en el agua que viene de la instalación que ha perdido calor y es bombeada a la azotea a 4.5 kgf/cm^2 de presión; pasa por el sumidero de calor y es prealmacenada en un tanque secundario que controla la primera fase de alta temperatura que sale del sumidero; esta agua, ya con una ganancia de entalpia, circula hasta el termotanque principal en donde se homogeniza la temperatura a $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Considerando las pérdidas de calor en la tubería, el termotanque está conectado a una caldereta de 25 CC en paralelo para, en caso de inestabilidades de la radiación por la climatología, entrar el equipo para respaldo. El sumidero se colocó en la azotea del edificio, como se ve en la Figura 7; se ancló a la loza en un burro de PTR de 4 "; es controlado por una tarjeta programada para seguir el movimiento unidireccional del sol en el horario de 7 de la mañana a 5:30 p. m.



Figura 7

Sumidero de calor en operación



Para el manejo de las sobrepresiones, se instaló válvulas de seguridad a la admisión y a la descarga del sumidero; para permitir el movimiento del concentrador y del conjunto, se conectó mangueras flexibles de alta presión de acero inoxidable, a un cabezal de cobre y tubería de termofusión, que permite el flujo al circuito hidráulico.

Modelación

Para modelar el sumidero, se utiliza los principios matemáticos de la transferencia de calor con la base de la primera ley de la termodinámica, con la cual se establece que, la energía no se crea ni se destruye; simplemente, se transforma; así, se hizo uso de la ecuación (2) (Bird et al., 2002).

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \mu \Phi_v \quad (2)$$

Como el flujo inunda todo el diámetro de la tubería y, por el lado interior de la coraza, la sustancia llena la cavidad, permite tomar al sumidero como un cilindro sólido, por lo que se anulan los términos de velocidad y viscosidad. Considerando que la longitud del intercambiador no es tan grande, se asume que las pérdidas son despreciables, con lo que la expresión queda como la ecuación (3) en una sola dimensión y, dependiendo de la densidad ρ , el C_p y la conductividad térmica k , al interpretarla físicamente, indica que, en el sumidero de calor, la distribución de temperatura es una función de la longitud y del tiempo.

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (3)$$

En términos termodinámicos, se obtiene una expresión que ayuda a comprender el fenómeno de transferencia de energía y que, las características del calor específico son determinantes para su acumulación (Parry et al., 2014); esto da base para el planteamiento de la experimentación en términos de temperatura y tiempo, por lo que la fase esencial de este trabajo se estableció en colocar en operación el sumidero en el concentrador solar en días de radiación promedio de 950 Wtts/m², sin presencia de nubosidad y, la determinación del perfil de temperatura en un tiempo específico, con las sustancias seleccionadas.

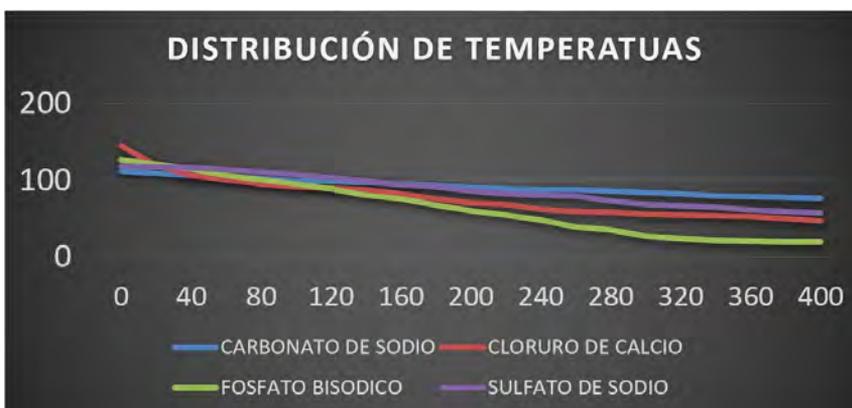
Resultados y Discusión

La operación del circuito hidráulico de este centro deportivo reporta un gasto de 80 lpm de agua, que da servicio a las actividades propias; la temperatura ambiente es de 28 °C; las pruebas fueron realizadas en horarios a partir de las 12 del día, para aprovechar la radiación del día. La temperatura de recirculación se registró en 26 °C; es decir, una vez que sale del área de servicio y nuevamente va al área de calentamiento.

El sumidero se cargó con cada una de las sustancias; al terminar cada prueba, se desmontó del concentrador, se limpió perfectamente y, nuevamente, se llenó con la siguiente sustancia. Algunas consideraciones involucradas en las pruebas fueron: la demanda de mayor agua caliente en regaderas, por presentarse eventos de competencias en el centro deportivo, que aumenta la fluencia de asistentes. Atendiendo el modelo matemático que se obtuvo, se estableció el registro y gráfica de datos de la temperatura en °C, contra el tiempo en minutos, como se puede apreciar en la Figura 8, con el fin de determinar cuál sustancia tiene mayor capacidad de almacenamiento.

Figura 8

Comportamiento térmico del sumidero temperatura T °C vs. tiempo min





Como se observa en la Figura 8, el carbonato de sodio tiene una mayor capacidad de almacenar el calor, al mantener su temperatura en los rangos más altos (77.5 °C y 112.4 °C), en un tiempo de un poco más de seis horas; esto quiere decir que, la disponibilidad de calor es más factible en sales y cristales, con este valor de calor específico. A continuación, el sulfato de sodio presentó el rango un poco por debajo del carbonato de calcio, finalizando la prueba arriba de los 58 °C y, aunque no alcanzó los 77.5 del carbonato, todavía es una muy buena temperatura, en términos de ganancia de calor. El cloruro de calcio tuvo, al inicio, un incremento significativo al alcanzar casi los 150 °C, pero, fue descendiendo hasta llegar a los 50 °C, condición que tampoco es mala, en términos de almacenamiento de energía; finalmente, el fosfato bisódico alcanzó temperatura de 125 °C; sin embargo, su energía se fue disipando hasta caer al nivel más bajo, de 26. También se observa que, todas las sustancias tienen un límite de almacenamiento y, a partir de este punto, su capacidad de almacenar energía disminuye.

Conclusiones

El almacenamiento de la energía se ha vuelto uno de los temas más importantes para la transición energética que está viviendo el mundo; las necesidades de disminuir y eficientar el uso de los combustibles fósiles, determinan la huella de carbono y la emisión de GEI, por lo que será necesario acelerar la migración hacia fuentes renovables de energía, que puedan satisfacer las demandas de las sociedades y, al mismo tiempo, disminuir la posibilidad de rebasar el límite de los 1.5 °C de la temperatura global. El uso de sustancias con bajo calor específico C_p en sumideros, operando como pilas térmicas, representa una opción muy rentable, como en el caso del carbonato de sodio, que mostró su alta capacidad de almacenar energía térmica, al igual que las otras sustancias con las cuales se experimentó, abriendo la posibilidad de investigar este tipo de dispositivos con otras sustancias y configuraciones, así como se identificó la ventaja que ofrece la concentración solar, como opción para captar energía en los sumideros, pudiéndose utilizar en procesos industriales y plantas de proceso donde se requiera energía térmica.

Referencias

- Anser, M. K., Hanif, I., Alharthi, M., & Chaudhry, I. S. (2020). Impact of fossil fuels, renewable energy consumption, and industrial growth on carbon emissions in Latin American and Caribbean economies. *Atmósfera*, 33(3), 201-213. <https://doi.org/10.20937/ATM.52732>
- Armesto, A. (2021). Preocupación por el cambio climático, condiciones económicas individuales y priorización del medioambiente en América Latina. *Opinião Publica*, 27(1), 1-27. <https://doi.org/10.1590/1807-019120212711>





- Ballesteros-Ballesteros, V. A. y Gallego-Torres, A. P. (2019). Modelo de educación en energías renovables desde el compromiso público y la actitud energética. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28(52), 27-42. <https://doi.org/10.19053/01211129.v28.n52.2019.9652>
- Bird, R. B., Stewart, W. E., Lightfoot, E. N. (2002). *Transport Phenomena* (2nd ed.). John Wiley & Sons Inc.
- Bravo, D. (2018). Una revisión sobre materiales para almacenamiento de energías solar térmica. *Ingeniería*, 23(2), 144-165. <https://doi.org/10.14483/23448393.12510>
- Catalán, H. (2021). Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México. *Problemas del Desarrollo*, 52(204), 59-83. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2021.204.69611>
- Dandotiya, D., & Banker, D. (2017). Numerical investigation of heat transfer enhancement in a multitube thermal energy storage heat exchanger using fins. *Numerical Heat Transfer*, 72(5), 389-400. <https://doi.org/10.1080/10407782.2017.1376976>
- Dinesh, R., Hussain, S. I., Roseline A. A., & Kalaiselvam, S. (2021). Experimental investigation on heat transfer behavior of the novel ternary eutectic PCM embedded with MWCNT for thermal energy storage systems *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, (145), 2935-2949. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09726-4>
- Esteire, E. (2010). *Energías renovables: manual técnico*. Antonio Madrid Vicente Editores.
- Gobierno de México. (2022). Balance Nacional de Energía. <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia-2019>.
- Goswami, Y., Neti, S., Muley, A., & Roe, G. (2013). Canned heat. *Mechanical Engineering*, 135(6), 36-41. <https://doi.org/10.1115/1.2013-JUN-2>
- Jeon, J., Lee, J.-H., Seo, J., Jeon, S.-G., & Kim, S. (2013). Application of PCM thermal energy storage system to reduce building energy consumption. *Journal of Thermal Analysis Calorimetry*, 111, 279-288. <https://doi.org/10.1007/s10973-012-2291-9>
- Kumar, A., Sharma, R. K., Hagos, F. Y., Tripathi, D., & Tyagi, V. V. (2020). Improved thermal energy storage behavior of polyethylene glycolbased NEOPCM containing aluminum oxide nanoparticles for solar thermal applications. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, (143), 1881-1892. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09976-2>
- Limaye, V. S., Max, W., Constible, J., & Knowlton, K. (2019). Estimating the health-related costs of 10 climate-sensitive U.S. events during 2012. *GeoHealth*, 3(9), 245-265. <https://doi.org/10.1029/2019GH000202>



- Madhi, J. M. & Nsofor, E. C. (2016). Melting of PCM with nanoparticles in a Triplex-Tube Thermal Energy Storage System. *ASHRAE Transactions*, 122(2), 215.
- Naciones Unidas (UN). (2015). Acuerdo de París. https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf
- Parry, A. J., Eames, P. C., & Agyenim, F. B. (2014). Modeling of Thermal Energy Storage Shell-and-Tube Heat Exchanger. *Heat Transfer Engineering*, 35(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/01457632.2013.810057>
- Vega, J. (2014). *Fuentes de energía: renovables y no renovables. Aplicaciones*. Editorial Alfaomega.
- Wang, S., Faghri, A., & Bergman, T. L. (2012). A comparison study of sensible and latent thermal energy storage systems for concentrating solar power applications. *Numerical Heat Transfer*, 61(11), 860-871.
- Yilbas, B. S., Anwar, M. K., & Shuja, S. Z. (2016). A mobile thermal battery and thermal energy storage enhancement. *Numerical Heat Transfer*, 69(11), 1297-1309. <http://dx.doi.org/10.1080/10407782.2016.1139914>.
- Zabaloy, M. F. y Guzowski, C. (2018). La política de transición energética de combustibles fósiles a energías renovables: el caso de Argentina, Brasil y Uruguay en el periodo 1970-2016. *Economía Coyuntural* 3(3), 2-34.

