

ESTUDIOS DE DESARROLLO Y APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Studies of development and use of solar thermal energy

Balcázar-Páez, H. A.* y Peña-Córdoba, J. O.**



RESUMEN

La industrialización que se le ha dado a la tierra es una muestra del desarrollo tecnológico del cual es capaz el ser humano; sin embargo, se ha abusado de los recursos disponibles, y ahora la tierra requiere de una intervención urgente para evitar que se continúe deteriorando. En respuesta a ello, se han iniciado en varios países, desde hace ya algunos años, estudios que permitan hacer uso de fuentes alternativas de energía que permitan minimizar los impactos del consumo energético que hemos generado día a día.

Palabras clave: energía solar, energía térmica, paneles solares térmicos, fuentes alternativas de energía.

* Estudiante de Ingeniería Mecánica de la Universidad ECCI. henrya.balcazarp@ecc.edu.co

** Estudiante de Ingeniería Mecánica de la Universidad ECCI. jehinsono.penac@ecc.edu.co

ABSTRACT

The industrialization that has given to the earth is a big sample of the technological development of which is able the human being, however, has abused of the available resources to our scope and now the earth requires of an urgent intervention to avoid that continue deteriorating, in reply to this, have initiated in several countries, some years ago, studies that allow to do use of alternative sources of energy, that allow to minimise the impacts of the energetic consumption that have generated day in day out.

Key words: solar energy, thermal energy, thermal solar panels, alternative energy sources.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo vertiginoso de la sociedad industrializada ha sido posible por el consumo intensivo de combustibles fósiles y energía. En consecuencia, el consumo mundial demanda una gran cantidad de energía a utilizar, siendo uno de los grandes medidores del progreso y bienestar en la sociedad.

La crisis energética aparece cuando las fuentes de energía, de las cuales se abastece el mundo, se agotan. Las políticas de control de mercadeo y los intereses geopolíticos en la producción de fuentes energéticas, las situaciones de inestabilidad política interna, el conflicto armado y los fenómenos naturales contribuyen al incremento de dicha crisis, ocasionando que la economía se eleve y se disminuya la capacidad productiva y comercial; afectando los sectores económicos de cada nación y las organizaciones de países exportadores de petróleo.

Se estima que en 40 años las reservas del petróleo acabarían el impacto mundial que ha generado la combustión de estos combustibles ocasionan emisiones de óxidos de carbono, azufre y de nitrógeno. El CO₂ es causante del efecto de invernadero, este absorbe la radiación infrarroja emitida por la superficie de la tierra produciendo el recalentamiento de la atmósfera. Los óxidos de azufre y nitrógeno se combinan con el agua situada en la atmósfera y generan ácidos, entre ellos el sulfúrico y el nítrico, que caen con la lluvia. La gran demanda energética, especialmente en países en desarrollo, el aumento de CO₂ y demás gases de invernadero llegarían a causar deterioros en el medio ambiente.

De allí la importancia de encontrar y desarrollar fuentes alternativas de energía independiente, que puedan sustituir a los combustibles fósiles (petróleo, gas natural o carbón), ya que si estas fuentes se agotaran del todo, entraríamos a una crisis energética de nivel mundial.

Las energías renovables se obtienen de fuentes biológicas o naturales, y son desarrolladas para

reemplazar las fuentes de energía ya existentes, con el fin de contribuir en el cuidado del medio ambiente, en el que tiene cabida los desarrollos tecnológico, educativo y económico mundiales, contra los efectos contaminantes que llevan al calentamiento global y al agotamiento de combustibles fósiles.

La energía solar es considerada la fuente de vida en la tierra. Entonces, haciendo uso racional y el adecuado almacenaje de esta radiación se puede transformar en otras energías entre las que están la térmica y la eléctrica por medio de paneles solares. La energía solar se aprovecha generalmente empleando dispositivos activos, por ejemplo: células fotovoltaicas y receptores (seguidores solares), dependiendo de si es una radiación directa o difusa.

La energía solar térmica, aprovecha la radiación captada por paneles solares térmicos o también llamados captadores solares de placa plana para la generación de calor, ya sea destinada para un uso domiciliario, calefacción o producción de energía mecánica y de éstas a energía eléctrica (termoeléctricas). En la actualidad, los paneles solares térmicos han mostrado un gran avance tecnológico desarrollando diversos sistemas de captación de la radiación (tipos de recolectores) para la competencia contra el uso energético a partir de combustibles fósiles.

Existen trabajos de investigación que están haciendo que este tipo de energía solar térmica sea más eficiente en la generación de calor, además existen estudios con nanopartículas, almacenamientos con nanomateriales, sistemas híbridos, sistemas de secado solar basados en almacenamiento de energía térmica rendimientos termodinámicos en paneles térmicos, avances en generadores termoeléctricos. Esto permite poner en evidencia que el desarrollo de esta energía es accesible, inagotable y limpia, que tendrá enormes beneficios a largo plazo. Esto permitirá aumentar la seguridad energética de los países mediante la independencia energética, también mejorará la sostenibilidad, se reducirá la contaminación y se disminuirá el calentamiento global.

En general el aprovechamiento de la energía emitida por la radiación solar lleva no sólo a la generación de energía eléctrica, sino a que se pueda producir y convertir la energía del sol en calor. A continuación, revisaremos algunos de los trabajos de investigación que se han llevado a cabo en este campo para poder evidenciar el desarrollo y los avances que se están teniendo en distintas partes del mundo con respecto a este tema.

2. RESULTADOS

2.1. Estudios de desarrollo de la energía producida por paneles solares térmicos

2.1.1. *Recolección de energía solar por nanopartículas de óxido de cobalto: un nanofluido.*

Este estudio realizado en el Instituto Indio de Tecnología, en Punjab, India, propone la aplicación de un sistema de absorción de nanofluidos (NAS) basado en óxido de cobalto para la conversión eficiente del flujo de calor radiativo en energía térmica útil sobre el sistema basado en la absorción superficial (SAS).

Los nanofluidos han surgido como un líquido de transferencia de calor mucho más eficiente debido a su capacidad inherente para aumentar la energía solar térmica.

El estudio compone de dos sistemas, de absorción de superficie utilizando agua y de absorción de nanofluido que han evaluado la capacidad de elevar temperatura. Ambos sistemas fueron evaluados en un estudio de iluminación con condiciones idénticas, logrando evidenciar que es más eficiente el sistema de absorción de nanofluido que conduce un aumento de temperatura media de 23°C utilizando una fracción de masa de 40 mg/l de óxido de cobalto.

2.1.2. *Avances en generadores híbridos solares fotovoltaicos y termoeléctricos.*

Este artículo desarrollado en la Escuela de Energía y Ambiente de la Universidad de Hong Kong, expone

algunos de los desarrollos de los sistemas fotovoltaicos y termoeléctricos que hay actualmente.

Cuando un dispositivo fotovoltaico está expuesto a luz solar no toda la radiación solar es absorbida. Si la energía térmica se puede convertir en electricidad, esto mejora en gran medida el rendimiento de conversión.

La luz del espectro solar se encuentra en un rango de (200-800nm), mientras que una región termoeléctrica utiliza la región IR (800-3000 nm). Un dispositivo termoeléctrico no sólo aumenta la eficiencia de la conversión de energía, sino que también aumenta la temperatura y el calentamiento de la celda, como consecuencia, la vida útil de la celda solar se puede extender cuando se combina con un panel solar térmico, que es el principio de funcionamiento del híbrido PV/TE.

A futuro, aparte de la energía térmica, la radiación infrarroja también se puede convertir en electricidad por las células termofotovoltaicas (TPV). El tiempo de operación del TPV no está limitada al tiempo diurno. Además, permite el uso de nanomateriales con una estabilidad térmica de 1400-1600°C. El TPV se ha estudiado en una serie de aplicaciones, entre ellas, los sistemas de calefacción residencial y los vehículos eléctricos, generando 123,5 W y 306,2 W.

El rápido desarrollo de sistemas fotovoltaicos, los materiales termoeléctricos y las tecnologías de revestimiento, podrían convertir los sistemas flexibles en la próxima generación de generadores híbridos PV/TE con prometedores resultados para un mayor desarrollo. Se cree que los híbridos PV/TE desempeñarán un papel de seguridad energética.

2.1.3. *Configuración innovadora de una central híbrida de energía solar nuclear*

El trabajo propone una combinación de una planta nuclear y una concentración de energía solar (Concentrated Solar Power [CSP]), por medio de un análisis termodinámico del beneficio potencial.

La mayoría de los sistemas actuales de reactores nucleares en funcionamiento están produciendo vapor saturado a una presión relativamente baja; esto a su vez limita su eficiencia termodinámica. El sobrecalentamiento del vapor nuclear con energía solar térmica tiene el potencial para superar este inconveniente.

El sistema funciona con el reactor de agua presurizada y la torre solar. El calor solar se transfiere al vapor nuclear para elevar su temperatura. El sobrecalentamiento continuo se proporciona a través del almacenamiento de energía térmica. Los resultados de los cálculos muestran que el sobrecalentamiento solar puede aumentar la eficiencia eléctrica de manera significativa, empujándola a alrededor del 37,5%. La conversión de calor solar a electricidad alcanza tasas del 56,2%, acercándose a la efectividad del ciclo combinado moderno de las turbinas de gas.

El aumento de la eficiencia conduce a una reducción de los costos de instalación de las torres solares de hasta 25%. La planta CSP es autónoma, siendo particularmente impulsada por el campo solar más pequeño.

La hibridación propuesta de una pequeña planta de reactores nucleares con energía solar concentrada genera beneficios secundarios adicionales, partiendo de que el calor generado por energía solar a la proporción de calor de entrada es de 53,35%, y la energía solar a la relación de producción de energía nuclear alcanza el 109%.

De esta manera, se evidencia que la energía nuclear y la energía solar ofrecen el potencial de abundantes suministros a largo plazo de calor y energía eléctrica a precios que no están sujetos a los precios de los combustibles fósiles y que no producen emisiones de gases contaminantes.

El sobrecalentamiento exterior del vapor vivo de una pequeña central nuclear con energía solar tiene el potencial de aumentar significativamente la eficiencia eléctrica de la central nuclear, empujándola a

alrededor del 37,5%. Por tanto, la configuración específica propuesta es mutuamente beneficiosa. La conversión de energía solar se beneficia de su posicionamiento en la parte superior del ciclo de *Rankine*. Como resultado, el pico de calor solar a la eficiencia de la electricidad va mucho más allá de la eficiencia de las actuales plantas CSP.

Como era de esperar, la producción de electricidad tiene una dependencia estacional muy pronunciada. Toda la generación de invierno puede caracterizarse por un bajo factor de capacidad y una baja eficiencia eléctrica neta. Durante los meses de invierno, la producción de la planta híbrida puede incrementarse si está diseñada con un campo solar más grande y almacenamiento de energía o calentamiento alimentado con gas natural de las sales fundidas.

2.1.4. Energía solar térmica orgánica: ciclos Rankine

En este trabajo, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, se expone cómo en un modelo de un sistema de turbinas de vapor que utiliza un fluido orgánico de alta masa molecular con un cambio de fase líquido a vapor o punto de ebullición que tiene lugar a temperaturas más bajas, la temperatura de operación está entre 70°C y 300°C. Debido a las propiedades físicas del fluido orgánico, la expansión del vapor saturado no conduce a la zona de vapor húmedo, sino que queda en la zona de vapor sobrecalentado. Para incrementar la eficiencia puede utilizarse un regenerador entre la turbina y el condensador para precalentar el aceite orgánico. Además, puede utilizarse un economizador para recuperar el calor de los gases de escape de la caldera.

Ya que la tecnología existe en nichos creados por la necesidad de almacenamiento, la utilidad de la cogeneración y la disponibilidad de fuentes alternativas de energía térmica es altamente requerida. Un escenario que puede satisfacer estas condiciones es el despliegue de una ORC solar (*Organic Rankine Cycle*) dentro de una *microgrid* híbrida aislada, que contribuye con la generación de energía fotovoltaica

y de combustibles fósiles, y provee a la comunidad las cargas combinadas de calor y energía combinada.

Si bien las tecnologías de energía renovable son preferibles por muchas razones (a largo plazo: sostenibilidad, reducciones de emisiones e incluso consideraciones de precios en lugares extremadamente rurales), alcanzar un 100% de disponibilidad en dicho sistema con sólo paneles fotovoltaicos y térmicos es una meta que aún no se ha alcanzado.

Las ORC solares con o sin almacenamiento de energía térmica (TES) pueden utilizarse conjuntamente con una variedad de generación de energía, algunas de las cuales se utilizan simplemente en paralelo o potencialmente programada secuencialmente a través de una estrategia de control de nivel macro.

Otras fuentes de energía incluyen sistemas fotovoltaicos, concentradores PV/térmicos (CPVT), generadores con base en combustible conjuntos, pilas de combustible, turbinas eólicas, calderas de biomasa, recuperación de calor residual, geotérmica.

Una ORC solar también se puede configurar para evitar el calor alrededor de ésta para satisfacer directamente cargas térmicas, tales como calor de proceso industrial (por ejemplo, limpieza de botellas, ayuda a procesos de destilación rápida, recuperación de aceite mejorada, etcétera), refrigeración de absorción o calefacción de edificios o suministros de agua caliente.

2.1.5. Materiales y sistemas de almacenamiento de energía térmica para aplicaciones de energía solar.

La Escuela de Física de la Universidad de Nanjing en China, nos brinda información con respecto a los materiales empleados en los sistemas de energía térmica: aplicaciones del almacenamiento de energía térmica (TES) en el campo de energía solar permiten el despacho en la generación de electricidad y calefacción requerida en el hogar y ayuda a mitigar el problema de intermitencia con una fuente de energía

como es la energía solar. TES también ayuda suavizando las fluctuaciones en la demanda de energía durante diferentes períodos del día.

Entre las propiedades más notorias de los materiales de almacenamiento de energía solar térmica encontramos las aplicaciones en la calefacción doméstica, que requieren TES de baja temperatura, menos de 50°C; también se encuentran aplicaciones en la generación de energía eléctrica que requieren sistemas TES de alta temperatura (por encima de 175°C).

Las actuaciones de los sistemas TES dependen de las propiedades de la energía térmica de los materiales de almacenamiento elegidos. Las propiedades termofísicas de los materiales de almacenamiento de energía deben presentarse de acuerdo con los requerimientos dados en los campos de aplicación, como por ejemplo:

- *Punto de fusión*: los materiales de cambio de fase deben tener un punto de fusión cerca del rango de temperatura de funcionamiento requerido del sistema TES.
- *Densidad*: la alta densidad mejora la densidad de almacenamiento y reduce el volumen del sistema TES.
- *Calor latente de fusión*: los materiales de cambio de fase deben tener calor latente de fusión. El calor latente elevado de la fusión mejora la energía de almacenamiento del sistema.
- *Calor específico*: el calor específico elevado mejora la densidad de almacenamiento de energía del sistema.
- *Conductividad térmica*: alta conductividad térmica aumenta la carga térmica y velocidad de descarga que se desea.
- *Costo y disponibilidad*: el precio más barato del material de almacenamiento reduce capital y costos

operacionales. Deben estar disponibles abundantemente.

- *Estabilidad térmica*: no deben descomponerse a altas temperaturas. Esto da un rango de temperatura de operación más amplio y mayor energía.
- *Capacidad de almacenamiento del material*: las propiedades del material deben ser estables, incluso después de prolongados ciclos térmicos de calefacción y refrigeración.
- *Estabilidad química*: alta estabilidad química de los materiales de almacenamiento aumenta la vida de la planta de almacenamiento de energía.
- *No tóxico*: no debe ser perjudicial para la salud de los operadores ni para el ambiente.
- *Inflamabilidad*: no deben ser inflamables ni explosivos.
- *Presión de vapor*: deben tener baja presión de vapor en rango de temperatura. Alta presión de vapor requiere resistencia a la presión contención a altas temperaturas. También requiere aislamiento.

También se pueden utilizar diferentes nanoestructuras como mejora térmica, aditivos en PCM. Las nanopartículas tienen la ventaja de ser extremadamente pequeñas en tamaño, por lo tanto, se comportan como fluido y evitan ser obstruidos durante el flujo en tuberías. Por lo general, las mejoras térmicas logradas con las nanoestructuras son mejores que las metálicas y metálicas óxidos. Los tipos de nanopartículas son:

- Nanofibras basadas en carbono, nano-plaquetas, grafeno
- Copos y nanotubos de carbono.
- Metálico (Ag, Al, C / Cu y Cu).
- Óxido metálico (Al_2O_3 , CuO, NiO, SiO_2 , ZnO, MgO y TiO_2).
- Nanocables de plata.

Un sistema TES consta de tres partes: 1) medio de

almacenamiento, 2) calor intercambiador y 3) tanque de almacenamiento. El medio de almacenamiento puede ser sensible, latente al calor o material de almacenamiento termoquímico. El propósito del intercambiador es suministrar o extraer calor del medio de almacenamiento. Los tanques de almacenamiento contienen el medio de almacenamiento y aíslan los alrededores. Los sistemas TES deben estar diseñados para criterios que dependen del tipo, tamaño y diseño de la aplicación.

El sistema TES debe ser compatible con todas las demás unidades de la planta. También debe confirmarse la estrategia operacional general de la planta en consideración con la temperatura de funcionamiento, el rango, el número de horas de almacenamiento requerido, la carga y la descarga; también, la integración con el sistema de recogida solar deben garantizar su estabilidad a largo plazo; es decir, el número de ciclos que tanto el contenedor como el almacenamiento pueden soportar sin degradación de sus propiedades. La estabilidad a largo plazo del sistema puede verse comprometida por dos factores: la escasa estabilidad de las propiedades de los materiales ciclismo térmico y la corrosión e incompatibilidad química entre el PCM y su contenedor. En consecuencia, el almacenamiento más adecuado, el intercambiador de calor entre el material de almacenamiento térmico y el fluido de transferencia de calor (HTF), deben ser bien elegidos.

2.1.6. Almacenamiento de energía solar térmica en acuíferos jurásicos en el noreste de Alemania: un estudio de simulación

En este estudio se pone en evidencia que varios institutos de Alemania se han reunido para realizar una simulación para el almacenamiento de energía solar térmica. El entorno geológico se refiere a la cuenca del Noreste de Alemania (NEGB), específicamente un sitio 50km al oeste de Berlín, Alemania.

Se pretende estudiar la capacidad de almacenamiento de energía térmica del acuífero (ATES) para un almacenaje estacional del calor solar mediante

modelado termo-hidráulico.

La formación de almacenamiento considerada se encuentra en el lugar de restos jurásicos en una excavación a 270 mts de profundidad, mostrando una temperatura de formación de alrededor de 17°C y propiedades de almacenamiento hidráulico apropiado.

Se investigan cargas y descargas de energía solar térmica, asumidas para ser cosechadas por un campo de colectores planos de tamaño hectárea, que se modeliza empleando datos climáticos de la región considerada. Los resultados de la simulación muestran de forma ejemplar cómo se desarrolla el sistema de almacenamiento, desarrollando fracciones de recuperación que conservan la temperatura hasta un 80% de recuperación de calor durante los primeros años de funcionamiento.

El modelo solar ATES está cruzando una zona defectuosa de 30mts de ancho, con permeabilidades hidráulicas variables, lo que permite interacciones hidráulicas mejoradas y reducidas con esta zona de falla.

Las simulaciones muestran cómo se desarrolla la zona de influencia térmica alrededor del pozo de almacenamiento durante la carga y descarga. En ATES es característico el acondicionamiento térmico del sistema de almacenamiento, esto se debe al calentamiento gradual de la matriz. Después de un período de acondicionamiento de cuatro a cinco años, la fracción de recuperación de calor del sistema simulado aumenta a aproximadamente 70% a 80%, dependiendo del nivel de temperatura de almacenamiento y de la velocidad de flujo seleccionada.

2.1.7. Revisión y análisis de las fachadas térmicas solares.

Este trabajo realizado por el Trinity College de Dublín, Irlanda, revisa los colectores térmicos solares y la modificación de sus componentes para la integra-

ción de fachadas. Aprovechar la energía solar para satisfacer las necesidades térmicas en los edificios es una de las soluciones más prometedoras para el problema energético mundial. La explotación de la superficie adicional proporcionada por la fachada de un edificio puede aumentar significativamente la producción de energía solar. Desarrollar una gama de productos integrados adaptables que no afectan significativamente la estética del edificio es vital para permitir que el mercado integrado de energía solar térmica se amplíe y prospere.

Los sistemas solares térmicos nuevos y disponibles en el mercado también se revisan y evalúan utilizando métodos de evaluación estándar, basados en parámetros determinados experimentalmente ISO 9806.

Los colectores térmicos integrados directamente en la fachada se benefician del aislamiento adicional de la pared en la parte posterior; mostrando mayores eficiencias y luego un colector idéntico desplazado de la fachada. Las fachadas térmicas solares no acristaladas con absorbentes de alta capacitancia (por ejemplo, hormigón) experimentan un cambio en la energía máxima de pico y muestran una menor sensibilidad a las condiciones ambientales que los tradicionales colectores no esmaltados con base en metálica.

Las fachadas térmicas solares acristaladas, utilizadas para aplicaciones de alta temperatura (agua caliente sanitaria) provocan un sobrecalentamiento del interior del edificio que se puede reducir significativamente mediante la inclusión de un aislamiento de pared de alta calidad.

Para aplicaciones de baja temperatura (sistemas de precalentamiento), los sistemas más baratos no esmaltados ofrecen la solución más económica.

La inclusión de un color más brillante para el acristalamiento y un color más oscuro para el captador muestra las menores reducciones de eficiencia (<4%). Las nuevas soluciones de fachadas térmicas

solares incluyen colectores solares integrados en carriles de balcón, dispositivos de sombreado, persianas, ventanas o canalones.

Existen cuatro tipos de aplicación convencionales: 1. área opaca de la fachada, 2. balcón, 3. área de fachada transparente, y 4. área opaca de la fachada. Para cada tipo de aplicación, localización y/o fachada, la solución más adecuada es una revisión y evaluación del estado de la técnica de paneles solares térmicos y sus componentes; esto proporciona un valor de referencia para los diseñadores al seleccionar una tecnología solar térmica para adoptar.

Como regla general, para las aplicaciones a baja temperatura se deben seleccionar paneles térmicos no esmaltados que coincidan con la arquitectura de los edificios.

Para aplicaciones de alta temperatura, los paneles basados en colectores planos de cristal (FPC) y colectores de tubos evacuados (ETC) son los únicos disponibles para alcanzar estas temperaturas requeridas, y para edificios con grandes áreas acristaladas se deben considerar las fachadas térmicas solares parcialmente transparentes.

La importancia de las opciones de paneles solares térmicos disponibles en el mercado es clave para el progreso de la industria, y se destaca por un escenario donde se requiere energía térmica renovable.

2.1.8. Modelo térmico acoplado del panel híbrido fotovoltaico-termoeléctrico

Finalmente, el trabajo de la Universidad de Aalborg, presenta una alternativa para muestras de ciudades en Europa, que se desarrolla por medio de un modelo realista y térmicamente acoplado para predecir el rendimiento del panel híbrido, para lo cual se consideran las condiciones ambientales de tres ciudades en Europa: París (Francia), Málaga (España) y Aalborg (Dinamarca), y se evalúa el rendimiento diario del panel híbrido en las ciudades.

El efecto de convección natural, convección forzada y radiación se predice en este estudio. El modelo presenta la variación diaria de la generación de energía híbrida, la generación de energía termoeléctrica y fotovoltaica y la temperatura nodal de los paneles híbridos. Los resultados muestran que la pérdida de calor radiada de la superficie frontal y la pérdida de calor convectiva debida a la velocidad del viento son el tipo dominante de pérdida de calor de las superficies de los paneles.

El panel híbrido produce máxima potencia durante la primavera en el norte de Europa: en París y Aalborg, mientras que proporciona energía máxima durante el verano para el sur de Europa: en Málaga. Además, la eficiencia del panel es mayor en el norte de Europa donde la temperatura ambiente es menor y la velocidad del viento es más alta.

El estudio revela que con las pérdidas térmicas reales y las condiciones meteorológicas en paneles híbridos se produce el máximo durante la temporada de primavera en las ciudades del norte, máxima potencia en las ciudades del sur durante la temporada de verano, y el nivel de generación de energía es casi igual en la primavera y temporadas de verano en Europa central.

3. CONCLUSIONES

La necesidad de encontrar fuentes alternativas de energía ha despertado interés a nivel mundial, lo que ha llevado a que varios países estén adelantando sus propios estudios sobre el tema.

La mayoría de las contribuciones para hallar soluciones a los problemas que se han desarrollado a nivel energético, vienen de la academia en general, universidades e instituciones educativas.

En definitiva, gran parte de los proyectos requieren de una significativa inversión inicial para su desarrollo; sin embargo, ésta se puede ver recuperada paulatinamente una vez implementados y puestos en marcha dichos proyectos.

REFERENCIAS

- ALVA, G. et al. (2016) *Thermal energy storage materials and systems for solar energy applications*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. En:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.021>.
- BHALLA, V. y HIMANSHU, T. (2017) *Solar energy harvesting by cobalt oxide nanoparticles, a nanofluid absorption based system*, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 26 January 2017. En:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221313881730053X>.
- HUEN, P., WALID, A. y DAOUD (s.f) *Advances in hybrid solar photovoltaic and thermoelectric generators*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. En:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116306967>
- JEROEN, C. J. M., VAN DEN, B. y SAFARZYNSKA, K. (2017) *Integrated crisis-energy policy: Macro-evolutionary modelling of technology, finance and energy interactions January 2017*
- KARUNESH KANTA, A. (2016) *Thermal energy storage based solar drying systems: A review*. *Non-Conventional Energy Laboratory, Rajiv Gandhi Institute of Petroleum Thermal energy storage based solar drying systems: A review*. Karunesh Kanta. En:
<http://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.007>
- KASTNER, O. et al. (2016) *Thermal solar energy storage in Jurassic aquifers in Northeastern Germany: A simulation study*, *Renewable Energy* (2017). En:
 doi: 10.1016/j.renene.2016.12.003.
- KIBRIA, M.A. et al. (2015) A review on thermophysical properties of nanoparticle dispersed phase change materials. *Energy Convers Manag* 2015;95:69–89. En:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.02.028>
- M. de JUANA, J. (2010) *Energías Renovables para el Desarrollo. Aprovechamiento Térmico de la Energía Solar*.
- MITTERHOFER, M. y Orosz, M. (2015). *Dynmic simulation and optimization of an experimental micro-CSP power plant*. *PowerEnergy*. En: doi:10.1115/ES2015-49333.
- O'HEGARTY, R., KINNANE, O. y SARAH, J. (2016) *Review and analysis of solar thermal facades*, *Solar Energy* (2 June 2016). En:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.006>
- OROSZ, M. y DICKES, R. (2017) *Solar thermal powered Organic Rankine Cycles, Technologies and Applications*. En:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005101000168>
- POPOV, D. y BORISSOVA, A. (2017) *Innovative configuration of a hybridnuclear-solar tower power plant*, *Energy*. En:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217303304>
- QIU, K. y HAYDEN, A. C. S. (2011) *Development of a novel cascading TPV and TE power generation system*. *Appl Energy* 2012;91:304–8. En:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.09.041>.
- REZANIA, A., SERA, D. y ROSENDAHL, L. A. (2016) *Coupled thermal model of photovoltaic-thermoelectric hybrid panel for sample cities in Europe*, *Renewable Energy* (16-June-2016) En:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.06.045>
- TRITT, T.M., BÖTTNER, H. y CHEN, L. (2008) *Thermoelectrics: direct solar thermal energy conversion*. *MRS Bull* 2008. En: <http://dx.doi.org/10.1557/mrs2008.73>.