
Diseño, construcción y evaluación de un concentrador solar de disco parabólico tipo Scheffler para la calefacción de viviendas del Altiplano

Design, construction and evaluation of a parabolic dish solar concentrator Scheffler type for the heating of houses of the Plateau

Russel Allidren Lozada Vilca
rlozadav@unsa.edu.pe - Universidad nacional del Altiplano
Israel Jesús Arocutipa Escobar
israel7ae@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca
William Fernando Ancco Flores
discris.12a@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca
Vianeth Coaquira Ticona
vianeth.coaquira23@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca
Lizbeth Danitza Mamani Quispe
lizparedes1997@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca
Roger Mendoza Condori
rogermendoza1994@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca

Resumen

La energía térmica de la Irradiancia solar puede ser recogida por colectores solares térmicos (CST) y absorbida por el fluido de transferencia de calor (FTC) (Zhihang, Mohammad, & Amanullah, 2017) para transportar la energía térmica al intercambiador de calor y a la carga. En este trabajo se utilizó un colector solar de disco parabólico Scheffler (DPS) para desarrollar una aplicación de calefacción en viviendas en la región de Puno. La estructura del sistema consta principalmente de cinco subsistemas: subsistema de absorción térmica solar, subsistema de almacenamiento de energía térmica, subsistema de calefacción por radiador, subsistema de seguimiento solar y subsistema de alimentación de energía en corriente continua (CC). Debido al rango de temperatura y a la capacidad calorífica específica y la limitación económica, se consideró agua con etilenglicol (0.98H₂O+0.02C₂H₆O₂) en el proyecto. El prototipo fue evaluado en el invierno y la primavera del 2018 y el resultado mostró que el almacenamiento de la mezcla ayudó al sistema a operar dentro del rango de 18 a 20°C durante 6 horas.

Palabras claves: *Calefacción Solar, Puno, Disco Parabólico Scheffler, concentrador de alta temperatura.*

Abstract

The thermal energy from solar irradiance can be collected by solar thermal collectors (CST) and absorbed by the heat transfer fluid (FTC) (Zhihang, Mohammad, & Amanullah, 2017) to transport the thermal energy to the heat exchanger and to the load. In this work, a Scheffler (DPS) parabolic dish solar collector was used to develop a home heating application in the Puno region. The system structure consists mainly of five subsystems: solar thermal absorption subsystem, thermal energy storage subsystem, radiator heating subsystem, solar tracking subsystem and direct current (DC) power supply subsystem. Due to the temperature range and specific heat capacity and economic limitation, water with ethylene glycol (0.94H₂O+0.06C₂H₆O₂) was considered in the project. The prototype was evaluated in the winter and spring of 2018 and the result showed that the storage of the mixture helped the system to operate within the range of 18 to 20°C for 6 hours.

Keywords: *Creativity, Creative thinking, divergent thinking, Invention, Art.*

Introducción

Las heladas en las regiones alto-andinas no solamente afecta a los cultivos o solamente a los animales, también están las personas en condiciones más vulnerables ancianos y niños, de tal forma que inclusive pueden llegar a ser fatales debido a complicaciones de enfermedades leves desatadas por una prolongada exposición a temperaturas severas (bajo 0°C) y un fuerte factor socioeconómico. Y es por ello que mediante el presente estudio se describe la metodología para lograr elevar la temperatura media de una vivienda típica de la región de Puno.

CONFORT TERMICO

Temperatura en las zonas alto-andinas

La región de Puno a nivel nacional es conocida por sus temperaturas extremas que se presentan durante los meses de mayo, junio, julio y agosto estos descensos son conocidas como heladas (temperaturas inferiores a 0°C). La toma de datos se da en la ciudad de Puno, en latitud sur 15°51'26.27" y longitud oeste 70°0'56.16", a una altitud de 3848 msnm desde el día 11 de enero hasta el 31 de octubre del año 2018 para ello se utilizó sensores DHT22 tanto al interior de la vivienda y en el exterior a 1.5 metros del suelo y sin influencia de la radiación solar directa.

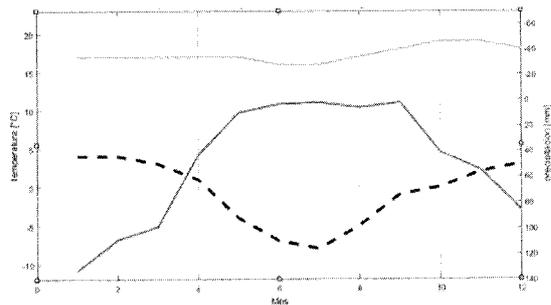


Figura 1. Temperatura máxima (línea naranja), temperatura mínima (línea azul espaciada) en la región de Puno en función del tiempo (meses)

El nivel de precipitación pluvial frente a las temperaturas mínimas, sugiere que en los meses de temperaturas más bajas tenemos una mayor radiación solar directa debido a la disminución de la precipitación inherente a la menor presencia de nubes en la región, esto se ilustra en la figura 1.

Confort térmico ideal

El confort térmico no es estático en el tiempo ni aun en condiciones similares por ello definiremos conceptos que nos ayuden a aproximarnos con mayor precisión a la definición de confort térmico ideal. Según las normas internacionales se define como: "La comodidad térmica es la condición de la mente que expresa satisfacción con el entorno térmico y se evalúa mediante una evaluación subjetiva (ASHRAE, 2017). Los resultados de ciertos estudios cuantitativos proporcionan una zona de confort con una banda relativamente amplia de aceptabilidad en la que el 80 por ciento de la población experimenta la sensación de confort térmico (Fairey, 1994). Estos resultados se superponen sobre en una carta psicométrica dividiéndose en dos regiones una para el verano y otra para el invierno. La mayoría de las personas se sentirán cómodas dentro de un rango de temperaturas de alrededor de 20 a 22 °C (The American Heritage Dictionary, 2018), pero esto puede variar mucho entre individuos y dependiendo de factores como el nivel de actividad, la ropa y humedad. (Nicol & Humphreys, 2002)

CALEFACCIÓN SOLAR MEDIANTE DISCO PARABÓLICO

Descripción general del sistema de calefacción solar tipo Scheffler

La Para lograr un incremento en la temperatura en una vivienda y hacerla confortable se requiere de un conjunto de componentes tales como se muestra en la figura 2.

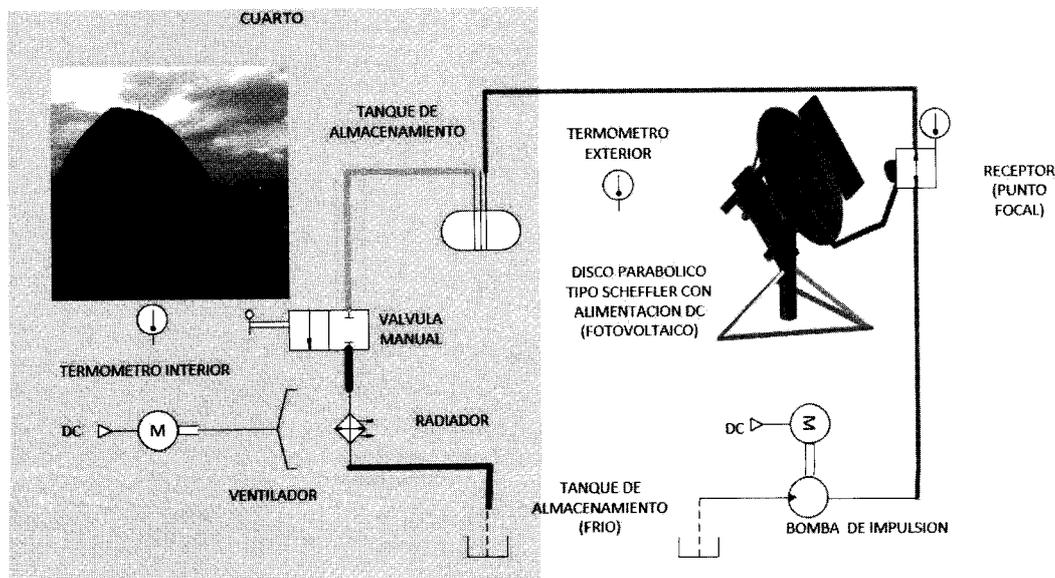


Figura 2. Representación esquemática del sistema de calefacción solar tipo Scheffler.

Desde un depósito a temperatura ambiente se bombea agua a razón de 12 litros por hora desde luego en función a la radiación solar directa, tanto el motor de la bomba centrífuga, los motores de sistema de seguimiento solar (elevación y rotación) y el motor del ventilador son energizados por una fuente dc suministrada por módulos solares de 200 watts. El fluido es bombeado de forma intermitente hasta el receptor donde alcanza los 87°C en promedio (mensurado por un PT100) nuevamente el fluido es impulsado por la bomba centrífuga obligando al fluido caliente a abandonar el receptor y es conducido mediante tuberías aisladas con fibra de vidrio y lana de vidrio y recubierto con cinta de aluminio para hacer frente a los embates de la naturaleza, el fluido llega hasta el tanque de almacenamiento de calor en donde es acumulado hasta el momento en el cual la temperatura de la vivienda descienda por debajo los 18°C. La transferencia de calor del fluido caliente se logra mediante un radiador incrementando la velocidad del aire mediante un ventilador también de forma intermitente, una vez que el agua a entregado toda la energía calorífica es evacuada hacia el tanque de almacenamiento frío para ser reutilizado cíclicamente, el sistema se diseñó en circuito cerrado para poder hacer evaluaciones con distintos tipos de fluidos.

Transformación de radiación solar en calor

Geometría solar

La Tierra gira alrededor del sol y sobre su mismo eje. La energía solar que llega a la tierra puede calcularse mediante el ángulo de declinación (δ), el ángulo de la hora solar (h), el ángulo del cenit (θ_Z), el ángulo de la altitud (α), ángulo acimutal (γ) y el lugar de ejecución del proyecto (latitud y longitud) (Braun & Mitchell, 1983). El ángulo de incidencia solar (θ) es el ángulo entre la luz del sol el plano de apertura del DPS y la normal a de dicho, cuando el Angulo de incidencia es mínimo la energía absorbida por el colector solar es máxima; por lo tanto, El sistema seguimiento del DPO posee dos ejes acimutal y cenital aproximando θ a cero. La energía que llega directamente a la superficie terrestre es la radiación solar directa (E_b):

$$E_b = I * \exp(0.8662 * T_{lk} * m_{opt} * d_{rm}) \quad (1)$$

donde T_{lk} es el factor de turbidez de Linke, m_{opt} es la masa de aire óptica y d_{rm} es el espesor óptico de Rayleigh.

Potencia en el DPS (Q_{dps})

La potencia en el plano de apertura del DPS depende de la radiación solar directa, área de apertura del DPS, el ángulo θ , la eficiencia óptica, velocidad del viento, temperatura, entre otros factores. No obstante, para este estudio Q_{dps} puede calcularse mediante la ecuación 2.

$$Q_{dps} = E_b * \cos\theta * A_{ap} * \eta_{opt} \quad (2)$$

El área de apertura (A_{ap}) es fácil de ser calculado, en cambio la eficiencia óptica toma valores que son más complejos de calcular, que está en función de la eficiencia óptica de material reflectante, la constante

de superficie no reflectante, y el área total de la superficie de reflexión que está dada por la doble integral como se muestra en la ecuación 3.

$$\eta_{opt} = \eta_{opt-mat} * \left(\int_{y_2}^{y_1} \int_{x_1(y)}^{x_2(y)} \left| \frac{\partial y}{\partial x} \right| dx dy - cte_e \right) \dots (3)$$

Sistema de DPS

Se seleccionó la mezcla de agua más etilenglicol para el almacenamiento térmico con un rango de temperatura de operación de -10°C a 120°C. La ecuación para calcular el caudal másico máximo se basa en la potencia máxima recibida por el colector. Basado en la ecuación 2, considerando los datos de radiación solar de 2015 en Puno. Usando la primera ley de la termodinámica en relación con la potencia absorbida por el DPO, el caudal másico se calculó como 31.18 kg/h mediante la ecuación 5.

$$Q_{dpo} = m * C_p * \Delta T \quad \therefore m_1 = m_2 = \frac{Q_{dpo}}{C_p * \Delta T} \quad (4)$$

Modelamiento del tanque caliente

La temperatura de salida del DPO (T_{dpo_s}) es la temperatura de entrada del tanque caliente (T_{ce}) y el rendimiento del tanque de almacenamiento depende de las pérdidas térmicas del tanque caliente y del tanque frío. Las pérdidas térmicas en el tanque caliente pueden calcularse de la siguiente manera:

$$Q_{PTc} = U * S * (T_{ce} - T_a) \quad (5)$$

Donde U es el coeficiente de transferencia de calor global (30W/m2. k.) considerando la conductividad térmica del medio de almacenamiento T_a es la temperatura ambiente del medio de almacenamiento (Zhihang, Mohammad, & Amanullah, 2017), S es la superficie del tanque y la temperatura de salida del tanque caliente es:

$$T_{STc} = T_{ETc} - \frac{Q_{Tc}}{C_p * m_2} \quad (6)$$

Modelamiento de la carga térmica

Una casa típica en Puno se considera como carga con una superficie de calefacción de 12 m². Para un edificio nuevo, la carga térmica media es de 50 a 70 W/m2, teniendo en cuenta las pérdidas de calor. Por lo tanto, la capacidad máxima del sistema de calefacción requerido es de 840W. La mezcla fluye al intercambiador de calor (radiador). Durante el intercambio de calor, la temperatura de la mezcla se expresa mediante la ecuación 10, donde η_{hx} es la eficiencia del intercambiador de calor y se toma 0,9 (Hameer & Niekerk, 2015). El aire se calienta a 35°C para la calefacción de la habitación para a los 25°C.

$$T_{s,o} = T_{s,i} - \frac{t_{a,o} - t_{a,i}}{\eta_{hx}} \quad (7)$$

Control PID del sistema de seguimiento de la trayectoria solar

Las aplicaciones solares de concentración, como los sistemas de discos parabólicos, requieren un alto grado de precisión para garantizar que la luz solar se

dirija con precisión al punto focal del reflector. Al mismo tiempo, el accionamiento mecánico y los controles electrónicos deben garantizar una transición suave durante el movimiento gradual o continuo para permitir que el sistema de seguimiento se fije a la fuente o al sol y permanezca estable

independientemente de los cambios en las condiciones ambientales externas (Prinsloo & Dobson, 2015). Se optó por un sistema de control de lazo híbrido, el diagrama de bloques se muestra en la figura 3:

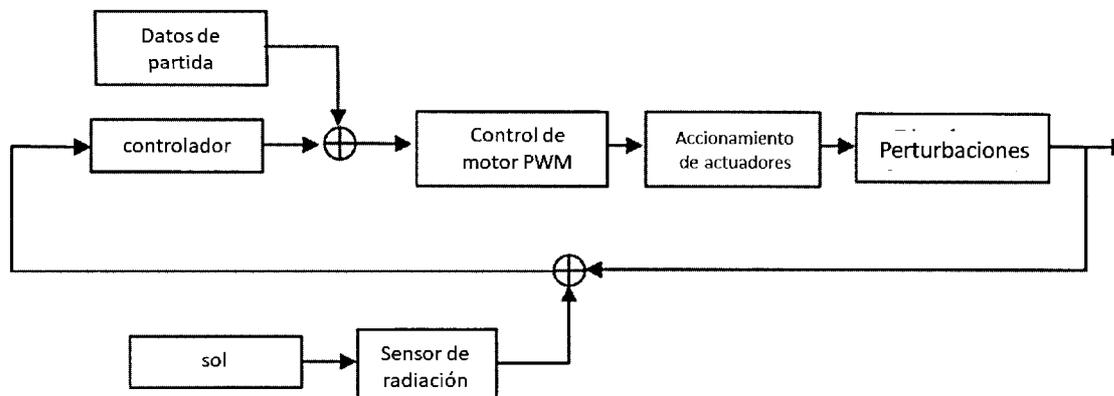


Figura 3. Principios de operación de lazo híbrido para control de movimiento adaptado de (Prinsloo & Dobson, 2015)

Materiales y métodos

Lugar de estudio

La región Puno se encuentra localizado en la sierra del sudeste del país a: 13°00'66"00" y 17°17'30" de latitud sur y los 71°06'57" y 68°48'46" de longitud oeste del meridiano de Greenwich. La región Puno se encuentra en el altiplano entre los 3,812 y 5,500 msnm (ARANGO, 2009). En mayor parte de la región se tiene una alta radiación solar directa idónea para nuestro fin.

Operalización de variables

De acuerdo con las hipótesis planteadas se pretende demostrar las siguientes expresiones:

El aprovechamiento de la radiación solar directa está en función de ángulo de incidencia y el flujo volumétrico.

$$T^{\circ}confort = f(\theta, Q)$$

La temperatura de confort está en función al calor total necesario que se almacena en el ambiente, este calor almacenado también es conocido como carga térmica.

$$T^{\circ}confort = f(Q)$$

Materiales

En el presente proyecto se utilizaron muchos materiales, equipos e insumos; solo mencionaremos los más resaltantes: Motor 12 VDC (15 RPM, 25 W), motor lineal 12VDC, (25 mm), foto-resistores, ARDUINO mega2560, multímetro digital Fluke, relay de estado sólido Weiba, Acero, pintura, electrodos de soldadura, rodamientos de bolas y cónicos etc.

Recolección de datos

Los datos de diseño del colector y todos los subsistemas se obtienen mediante revisión bibliográfica, análisis y comprobación mediante el

método de ensayo y error. Los datos de los sensores de temperatura (DHT22) son recolectados y almacenados cada 10 minutos, en el interior y exterior de la vivienda.

Aspectos constructivos

Todos los materiales utilizados para la construcción del sistema fueron a partir de objetos en desuso, vueltos a reciclar o en caso excepcionales y muy pocos fueron adquiridos como nuevos, de tal forma que se reducen los costos para su producción y una huella de carbono relativamente bajo, además, todos los materiales utilizados son accesibles en el país, permitiendo ser replicado.

Resultados y discusión

Mediante las simulaciones realizadas en el software 2D Energy en la habitación se logra observar un aumento de la temperatura desde la superficie del embaldosado hasta los 1.20m Figura 4(b) al utilizar el sistema de calefacción DPS. En cambio, si no se aplica el sistema de calefacción la habitación permanece en un estado de desconfort térmico figura 4(a).

Las pruebas se realizan durante los días 16, 22, 23 y 24 de setiembre del 2018, por cuestiones de espacio solo se muestra el salto térmico de la vivienda objeto de estudio en la Fig. 5.

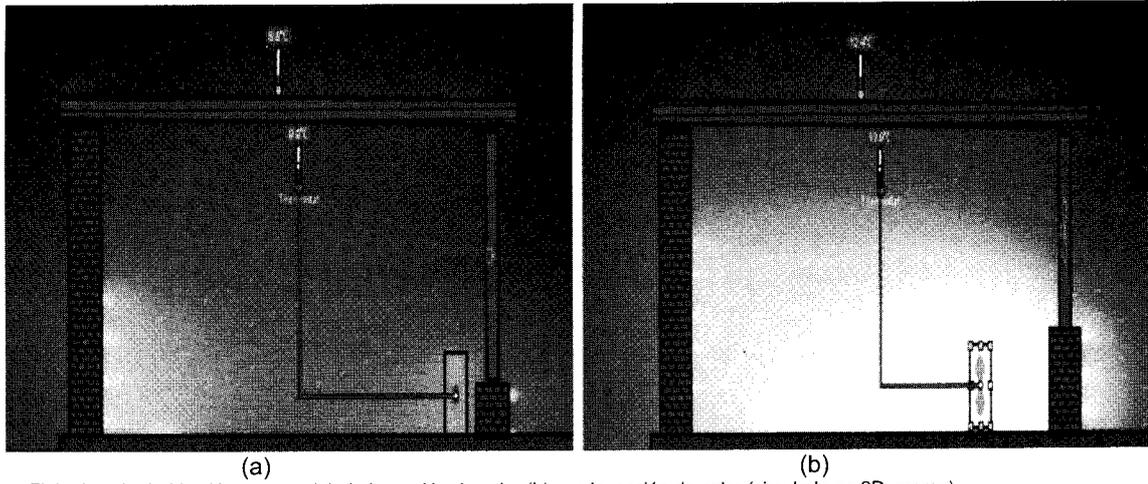


Figura 4. Flujo de calor habitación-entorno (a) sin inyección de calor (b) con inyección de calor (simulado en 2D energy).

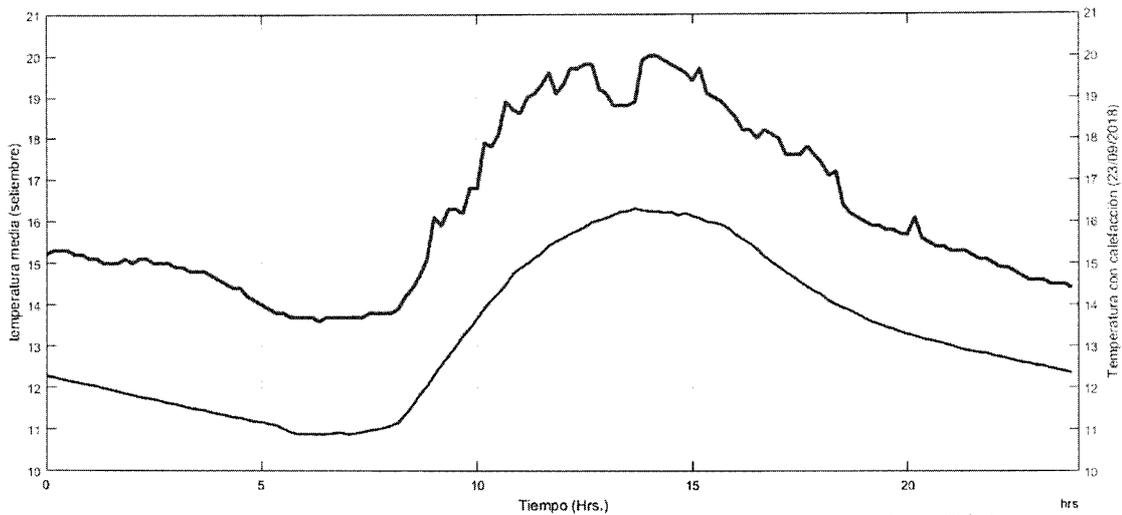


Figura 5. Salto térmico de la vivienda objeto de estudio utilizando el sistema de calefacción solar tipo Scheffler.

El sistema se puso en marcha desde las 09:00:00 horas como se puede apreciar con claridad una elevación de temperatura en contraste con la temperatura media del mes en cuestión. La temperatura más baja registrada es de 13.6°C y la máxima temperatura registrada fue de 20.3°C. Presentándose una sombreamiento en el sistema cerca de las 13:20:00 horas, algo muy a tener en cuenta ya que durante las experiencias se apreciaba presencia de nubes los cuales anulaban completamente el funcionamiento normal, decayendo rápidamente la temperatura en el punto focal en razón de que el sistema está diseñado para funcionar óptimamente con la radiación solar directa.

Conclusiones

La máxima temperatura alcanzada al interior de la habitación fue de 20.3°C.

Se logró un salto térmico de 4.1°C con respecto al promedio del mes de setiembre en la casa objeto de estudio.

La temperatura alcanzada en el punto focal supera los 700°C

Se logra la eficiencia energética realizando control de los actuadores mediante PWM.

La presencia de nubes reduce drásticamente la producción de energía térmica.

Referencias bibliográficas

- ASHRAE, S. 5. (2017). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- Braun, J. E., & Mitchell, J. C. (1983). Solar geometry for fixed and tracking surfaces. En J. E. Braun, & J. C. Mitchell, *Solar geometry for fixed and tracking surfaces* (págs. 439-444).
- Fairey, P. W. (1994). Passive Cooling and Human Comfort. *FSEC Publication DN-5*.
- Hameer, S., & Niekerk, J. L. (2015). *Thermodynamic Modelling of Molten Salt Thermal Energy Storage System*. International Journal of Scientific Research and Innovative Technology.
- Nicol, F., & Humphreys, M. (2002). *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*.
- Pitz-Paal, R. (2006). *high temperature solar concentrators*. ASME journal of solar energy engineering.
- Prinsloo, G., & Dobson, R. (2015). *solar tracking: sun position, sun tracking, sun following*. South Africa.
- The American Heritage Dictionary*. (2018). Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company.
- Zhihang, Z., Mohammad, T. A., & Amanullah, M. T. (2017). Solar thermal energy with molten-salt storage for residential heating application . *ScienceDirect*, 243-249.