



Modelamiento de un Ciclo Orgánico de Rankine Híbrido activado por paneles solares y el aprovechamiento de calor residual de una planta industrial

Modeling of an organic cycle of Rankine Hybrid activated by solar energy and the use of residual heat from an industrial plant

Modelagem de um ciclo orgânico de híbrido Rankine ativado por painéis solares e uso de calor residual de uma planta industrial

Paul Gustavo Palmay-Paredes ^I

paul.palmay@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9172-4113>

Paul Alejandro Montúfar-Paz ^{II}

paul.montufar@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9062-8704>

Mónica Lilián Andrade-Avalos ^{III}

monica.andrade@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5736-5607>

Correspondencia: paul.palmay@esPOCH.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de investigación

***Recibido:** 19 de abril de 2020 ***Aceptado:** 27 de mayo de 2020 * **Publicado:** 30 de junio de 2020

- I. Ingeniero Químico, Máster en Ingeniería en Termodinámica de Fluidos, Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación Ambiente y Desarrollo GIADE, Riobamba, Ecuador.
- II. Maestro en Ingeniería Automotriz, Ingeniero Automotriz, Docente de la Facultad de Mecánica en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Gestión Ambiental, Riobamba, Ecuador.
- III. Ingeniera Química, Máster en Ingeniería Química Aplicada, Técnico Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

El presente estudio tiene por objetivo el desarrollar un modelo de un Ciclo Orgánico de Rankine Híbrido activado por energía solar y mediante el aprovechamiento del calor residual proveniente de una operación industrial. Se realizó la modelación con colectores solares cilíndricos parabólicos que trabajan con un tanque de almacenamiento térmico (storage tank) en condiciones de estacionalidad, que alimenta al recuperador de calor, en conjunto con el flujo de gases de escape provenientes del proceso industrial.

Se estudió para que la producción máxima de electricidad la mayor explotación del calor residual disponible y un área de colectores de 600 m². El ciclo orgánico de Rankine se modela considerándolo estable y estacionario, con una cámara de agua de alimentación abierta, usando el Engineering Equation Solver (EES) para el desarrollo del modelo termodinámico, comparando 5 fluidos de trabajo: Tolueno, Ciclohexano, n-Pentano, Isopentano y el octametiltrisiloxano (MDM), obteniendo una máxima producción de electricidad con Tolueno que alcanzó 79 kW y una eficiencia del 20.52%.

Palabras claves: Ciclo orgánico de Rankine; energía solar; calor residual; ciclos híbridos.

Abstract

The objective of this study is to develop a model of a Hybrid Rankine Organic Cycle activated by solar energy and heat waste from an industrial operation. The modeling was carried out with parabolic cylindrical solar collectors that work with a thermal storage tank (storage tank) on stationary conditions, which feeds the heat waste recovery unit, together with the flow of exhaust gases from the industrial process.

The maximum exploitation of the available residual heat and a collector area of 600 m² were studied so that the maximum electricity production. The Rankine organic cycle is modeled considering it stable and stationary, with an open feed water chamber, using the Engineering Equation Solver (EES) for the development of the thermodynamic model, comparing 5 working fluids: Toluene, Cyclohexane, n-Pentane, Isopentane and octamethyltrisiloxane (MDM), obtaining maximum electricity production with Toluene that reached 79 KW and an efficiency of 20.52%.

Keywords: Rankine organic cycle, solar energy, waste heat, hybrid cycles.

Resumo

O objetivo deste estudo é desenvolver um modelo de um Ciclo Orgânico Rankine Híbrido ativado por energia solar e usando calor residual de uma operação industrial. A modelagem foi realizada com coletores solares cilíndricos parabólicos que funcionam com um tanque de armazenamento térmico (tanque de armazenamento) em condições sazonais, que alimentam a unidade de recuperação de calor, juntamente com o fluxo de gases de escape do processo industrial.

A exploração máxima do calor residual disponível e uma área coletora de 600 m² foram estudadas para que a produção máxima de eletricidade. O ciclo orgânico Rankine é modelado considerando-o estável e estacionário, com uma câmara de água de alimentação aberta, usando o Engineering Equation Solver (EES) para o desenvolvimento do modelo termodinâmico, comparando 5 fluidos de trabalho: tolueno, ciclohexano, n-pentano, Isopentano e octametiltrissiloxano (MDM), obtendo produção máxima de eletricidade com tolueno que atingiu 79 KW e uma eficiência de 20,52%.

Palavras-chave: Ciclo orgânico Rankine; energia solar; calor residual; ciclos híbridos.

Introducción

En los últimos años, muchas investigaciones se orientan a la búsqueda de energías alternativas a convencionales, debido a los problemas relacionados con el calentamiento global, la altísima demanda energética y el agotamiento de combustible energía solar, geotérmica, eólica o la cogeneración son las principales fuentes de energía renovable como reemplazo a los sistemas normales, ya que estas son abundantes, baratas y amigables con el medio ambiente, convirtiéndolas en una opción viable en la aplicación de sistemas de consumo energético alto a nivel industrial (Bellos & Tzivanidis, 2018; Martínez, Michaux, Salagnac, & Bouvier, 2017). En este contexto, una de las tecnologías más desarrolladas en los últimos años es el de sistemas de energía eléctrica accionados por energía solar que se convierten en una opción atractiva para empresas que buscan una fuente de energía barata y limpia, especialmente en industrias de locación remota o simplemente en aquellas que tienen un alto consumo de energía y buscan disminuir sus costos de producción (Galindo Noguera, Mendoza Castellanos, Silva Lora, & Melian Cobas, 2018). Las formas para convertir la energía solar en la electricidad son fotovoltaica (PV) y solar concentrada térmica (CST). Siendo esta última la de más fácil aplicación, en las cuales, los colectores y los paneles solares son las más versátiles. Dentro de los

colectores solares a su vez lo de tipo cilíndricos parabólicos son los de mayor utilidad en las aplicaciones industriales ya que normalmente esto es logrado manteniendo la temperatura de salida del campo alrededor del valor máximo permitido, que es 400 °C, debido a la degradación del aceite térmico que usa, lo que le convierte en la mejor opción para sistemas donde la fuente de energía cuenta con nivel de temperatura bajo (Navas, Rubio, & Ollero, 2017).

Por otro lado, la cogeneración se ha convertido en una herramienta básica para las industrias que buscan la minimización del consumo energético, razón por la cual es una aplicación de amplio espectro de aplicaciones sea calefacción, o refrigeración o incluido en sistemas híbridos (Salehi, Mousavi, Fasihfar, & Ravanbakhsh, 2019). Esta tendencia actual aborda la oportunidad de su integración con tecnologías más nuevas para la generación de electricidad, como las plantas basadas en el Ciclo Orgánico Rankine (ORC), como muy prometedoras, que reúne modelos analíticos y de simulación que ayuden a su fácil entendimiento y se puedan desarrollar como metodologías de búsqueda en sistemas combinados (Pereira, Ribeiro, Mendes, Vaz, & André, 2018; Vittorini, Antonini, Cipollone, Carapellucci, & Villante, 2018).

Los sistemas de energía solar en el Ecuador tienen una aplicación común como fuente de agua caliente doméstica en viviendas, sin embargo el potencial de uso es mucho más amplio debido a las condiciones de alta radiación a las cuales se encuentra el país donde se puede aprovechar de una forma más eficiente esta energía para la producción de energía eléctrica siendo una de las tecnologías de mayor potencial para la generación de energía eléctrica sin huella de carbono alta y reduciendo el consumo de combustibles fósiles (Tzivanidis, Bellos, & Antonopoulos, 2016a). Existe un sin número de estudios de las características y eficiencias de los sistemas de colectores solares en función de sus variables de diseño así como de los tipos y eficiencias que desarrollan, siendo los colectores parabólicos (PTCs) la más la más utilizada; correspondiendo cerca de un 90 % a este tipo en instalaciones a nivel mundial (Binotti, Zhu, Gray, Manzolini, & Silva, 2013).

La usual forma de convertir la energía solar en potencia es el ciclo Orgánico de Rankine (ORC) sea en un ciclo simple o con modificaciones para mejorar su rendimiento que se caracteriza por una alta eficiencia térmica cuando se combina con fuentes de calor como el calor residual (Karellas, Leontaritis, Panousis, Bellos, & Kakaras, 2013).

Se analiza en el presente estudio un ORC híbrido con activación por paneles solares de tipo cilíndrico parabólicos que mantiene un flujo constante mediante un storage tank usando Shell Thermia Oil B como aceite termico seleccionado en función de su disponibilidad en el mercado

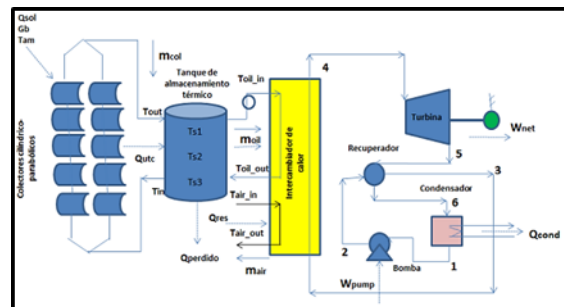
local; y accionado por calor residual proveniente de los gases de combustión a una temperatura comprendida entre 120 y 175°C modelado termodinámicamente como aire seco. Se realiza la comparación de los rendimientos al utilizar cinco fluidos de trabajo diferentes: Tolueno, ciclo hexano, MDM, Isopentano y n-Pentano que son fluidos de uso en ciclos de Rankine.

Metodología

Descripción del sistema

Los colectores cilíndrico-parabólicos se seleccionan para el sistema de paneles usando aceite mineral Shell Thermia Oil B, en conjunto con un tanque de almacenamiento de energía modelado valor máximo de heliofania durante el día promedio de la zona. El aceite mineral a temperatura (T_{in}) sale por la parte inferior del storage tank e ingresa al colector solar, recibe la energía solar en forma de calor para salir del colector a una temperatura (T_{out}) a la parte superior del tanque de almacenamiento térmico. Para el uso del storage tank se lo considera como tres secciones individuales (3 nodos) horizontales, en el que la temperatura en el nodo superior es más alta debido a la menor densidad del aceite, este aceite caliente ingresa con una temperatura (T_{oilin}) al evaporador del ORC y se combina con el ingreso del calor residual con una temperatura (T_{ena}).

Figura 1: Diagrama propuesto del Ciclo Orgánico de Rankine híbrido



Fuente: Autores, 2020.

Orgánico de Rankine híbrido

El ciclo Orgánico de Rankine consiste en un ciclo simple con cámara de recuperación, el fluido sale del condensador en el punto 1 a un nivel de presión baja y como líquido saturado, el que es bombeado al evaporador que se encuentra a la presión del punto 2 (P_{max}) que ingresa al recuperador de calor y precalentarse en el punto 3, el mismo que ingresa al evaporador y salir en

el punto 4 como vapor sobrecalentado. Seguido se produce la expansión en la turbina hasta un nivel de baja presión, punto 5 que ingresa al recuperador y brinda energía a la otra corriente. El punto final es la salida del calor al medioambiente por medio del condensador transición del punto 6 al punto 1.

Consideraciones de diseño

Se establece la estacionalidad del sistema de recuperación de calor en función de las condiciones de operación del proceso (Bellos & Tzivanidis, 2018; Galindo Noguera et al., 2018). Mientras que para el análisis del ORC las consideraciones a tomar son las siguientes: la temperatura ambiente se considera de 14°C como temperatura de promedio de la ciudad de estudio, la temperatura T_{in} de ingreso al campo solar es de 200°C. El tanque de almacenamiento pierde calor al medioambiente con un coeficiente de pérdida de calor promedio de $U_t = 0.001 \text{ KW m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ que incluye pérdidas por radiación y convección. La temperatura máxima del aceite térmico en la entrada del intercambiador de calor se establece en 320 °C que es la temperatura máxima de funcionamiento del aceite seleccionado de acuerdo con especificaciones del fabricante. Para la simulación termodinámica del ORC se emplea el software Engineering Equation Solver EES®, con una temperatura de condensación del sistema de 60°C, con la finalidad de que el rechazo de calor al ambiente se dé a diferentes condiciones de temperatura en la noche o en el día. La presión mínima del ORC se fija a la presión de saturación del fluido de trabajo seleccionado a la temperatura de condensación $P_{min} = P_{sat}$. (Arteconi, Del Zotto, Tascioni, & Cioccolanti, 2019; Khalil, Mahmoud, Al- Dadah, & AL-Mousawi, 2017) Para la presión máxima del sistema se plantea el 10 % menos de la presión crítica del fluido de trabajo.

En los procesos de evaporación condensación se plantea un pinch point de 20 K valor típico en calderas de recuperación (Xu et al., 2015). La eficiencia isentrópica de la turbina es del 85% y de la bomba 70%, de acuerdo con lo establecido en estudios previos y validados como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Parámetros y suposiciones para el modelamiento de la ORC

Eficiencia η (%)		Desviación (%)	Referencia
Modelo referencia	Modelo propuesto		
21.08	20.71	1.78	(tzivanidis et al., 2016a)
21.51	20.71	3.86	(5)

Fuente: Autores. 2020

El conjunto de datos para el análisis de la heliofania fue tomado de los reportes de la Estación AGROMETEREOLÓGICA – ESPOCH para la ciudad de Riobamba a una altura de 2760 msm. del año 2018, con un promedio de 5,2 horas.

Se realiza un estudio en conjunto de los dos sistemas Solar y ORC, para determinar la producción máxima de potencia con diferentes fluidos de trabajo a las condiciones de operación establecidos.

Modelación matemática

Sistema de paneles solares (Heliofania)

Se determina la máxima heliofania según los datos promedios y se determina el calor útil que se entrega al evaporador del ORC.

Para esto se plantea sigue la secuencia de cálculos que se presentan a continuación. La declinación solar (δ) se calcula tomando en consideración el día acumulado del mes (n) mediante la ecuación 1.

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360^\circ(284+n)}{365}\right) \quad (1)$$

El ángulo horario (W_s) necesario para el cálculo del número de horas útiles en la ecuación 3, se lo estima tomando en cuenta la latitud de la zona de estudio (ϕ) (Bellos & Tzivanidis, 2018; Binotti et al., 2013).

$$W_s = \arccos\left[-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta)\right] \quad (2)$$

$$N = (2/15) \cdot W_s \quad (3)$$

La radiación extraterrestre incidente diaria sobre una superficie horizontal (H_o) se lo calculo con las ecuaciones 4, 5 y 6 (Binotti et al., 2013).

$$H_o = (24 \cdot G_o) / \pi \cdot A \cdot B \quad (4)$$

$$A = (1 + 0,033 \cdot \cos(360 \cdot n) / 365) \quad (5)$$

$$B = [\cos[\theta_0] \cdot \cos \delta \cdot \sin W_s + ((\pi \cdot W_s) / 180) \cdot \sin[\theta_0] \cdot \sin \delta] \quad (6)$$

A partir de la Ecuación 7 se determina la radiación solar diaria promedio terrestre sobre una superficie horizontal (H).

$$H = H_o [(a+b) \cdot n_r / N] \quad (7)$$

$$G_s = H \quad (8)$$

Para finalmente obtener el valor de la radiación solar diaria promedio disponible (G_b) mediante la ecuación 9 con un valor de 6 horas promedio útiles.

$$G_b = G_s / 6 \quad (9)$$

Colectores solares

Usando la apertura del colector A_c y la radiación solar diaria promedio disponible que utiliza un colector de tubos parabólicos se estima el calor máximo absorbido del sistema.

$$Q_{solar} = A_c \cdot G_b \quad (10)$$

Mientras que su eficiencia térmica (η_c) se calcula como la relación entre la energía útil y la energía solar incidente, ecuación 11.

$$\eta_c = (Q_{uc}) / Q_{solar} \quad (11)$$

La producción de energía útil Q_{uc} o el calor cedido por el aceite térmico usado con un gradiente de temperatura establecido se lo realiza usando la ecuación 12.

$$Q_{uc} = m_{oil} \cdot C_{p_{oil}} (T_{oilin} - T_{oilout}) \quad (12)$$

Para considerar las pérdidas del sistema se estima la eficiencia del colector.

$$\eta = FR \cdot (\tau \cdot \alpha) - FR \cdot UL [T_{in} - T_{am} / I] \quad (13)$$

Tanque de almacenamiento térmico

O llamado storage tank se lo plantea en un modelo de zonas térmicas, donde el tanque se encuentra separado en 3 zonas horizontales que incluyen aceite térmico, estratificado mediante la temperatura dentro del tanque. La zona de mayor temperatura se encuentra en el nodo superior y la más fría en la parte inferior del tanque (Kocijel, Mrzljak, & Glažar, 2020). Para el propósito

del estudio que es un análisis de la máxima generación de potencia se considera condiciones de estacionalidad en el tanque. Es importante mencionar, que se considera la temperatura de entrada al campo colector (T_{in}) igual al nivel de temperatura en la parte inferior del tanque de almacenamiento térmico (T_{s3}). Mientras que la temperatura en la parte superior del tanque (T_{s1}) es igual a la temperatura de ingreso del aceite al intercambiador de calor (T_{oilin}) y los flujos másicos tanto del colector solar (m_{col}) como del aceite térmico (m_{oil}) con la finalidad de cumplir con el estado estacionario antes mencionado.

El dimensionamiento del tanque se lo lleva a cabo con el uso de la fórmula (V/Ac) con un valor de $0,125 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (Bellos & Tzivanidis, 2018). Y mediante la ecuación 14 se determina las diferentes áreas de la estratificación de los nodos.

$$A_{s1} = \pi \cdot (D_{st}^2)/4 + \pi \cdot (D_{st}/3) \cdot L_{st} \quad (14)$$

Calor Residual

Los gases de escape provenientes de un horno de lata temperatura son utilizados como fuente de calor residual que registran una temperatura de salida por la chimenea entre 120°C a 176°C , y un flujo másico de 4.6 Kg s^{-1} para un día normal de producción sin para.

Ciclo Orgánico de Rankine ORC

En esta sección el modelado del ORC basados en las referencias (Bellos & Tzivanidis, 2018; Kocijel et al., 2020).

El trabajo real de los dispositivos mecánicos se los determina con la eficiencia isentrópica.

$$W_{pump} = (m_{ciclo} \cdot (P_{max} - P_{min})) / \eta \quad (15)$$

$$\eta_{turb} = (W_{turbr}) / (W_{turbs}) \quad (16)$$

La temperatura a la cual se precaliente el fluido al entrar al evaporador se lo determino considerando un incremento de 10 K como máxima transferencia de calor.

Potencia neta producida

Una vez calculado el trabajo que ingresa al evaporador del ciclo y modelado termodinámicamente se puede determinar la potencia neta producida mediante la ecuación 17, y así la determinación de la eficiencia global del ciclo con la ecuación.

$$\dot{W}_{net} = \dot{m}_{ciclo} (W_{turbr} - W_{pumpr}) \quad (17)$$

Resultados

Potencia producida a partir del calor aportado por sistema de paneles solares.

Como se puede observar en la tabla 2 se realiza una comparación entre la potencia producida para cada uno de los fluidos de trabajo, así como para la entrada de calor.

Tabla 2: Resultados del modelo para los diferentes fluidos de trabajo de energía aportada

	W _{net} (kW)		η _{ciclo} (%)
	Q _{res}	Q _{res} + Q _{uc}	
Tolueno	72,25	79,31	20,52
Ciclohexano	69,11	76,17	19,53
n-Heptano	52,03	57,67	14,78
Isopentano	49,19	54,55	13,97
MDM	45,73	50,14	12,99

Fuente: Autores, 2020

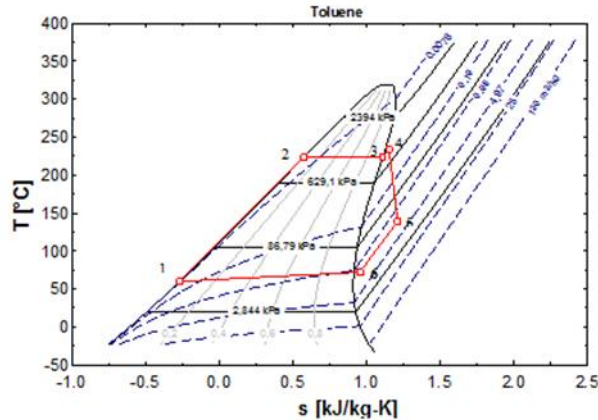
Se cuenta con un espacio físico para la colocación de los paneles solares de 660 m² óptimo para la colocación del sistema de paneles, donde se podría instalar 47 paneles de 14 m², los cuales aportan un 10% extra de potencia generada al producido por el calor residual que proviene del horno de alta temperatura valores similares correspondientes en porcentaje a los reportados en estudios previos (Tzivanidis, Bellos, & Antonopoulos, 2016b). Cabe recalcar que al incluir el storage tank, tan solo se tendría el abastecimiento de este calor por un tiempo de once horas al día en la cual se podrá contar con una potencia máxima de 72 kW para el tolueno y 50 kW para el MDM.

Comparación de los fluidos de trabajo

Mediante el diagrama de Temperatura – entropía en la gráficas 1 se muestra el ciclo termodinámico para el Tolueno como fluido de trabajo de mejor rendimiento, donde el vapor extraído de la caldera en el punto número cuatro está lejos de la línea de saturación luego de ser expandidos en la turbina debido a la pendiente positiva de su curva de saturación y condiciones en el punto crítico ; pudiendo ser aprovechado e calor que puede ceder el vapor aún caliente en

recuperador para precalentar al flujo que va hacia el evaporador mejorando la eficiencia térmica del ciclo , disminuyendo un 9 % el calor de entrada.

Grafico 1: Diagrama Temperatura vs Entropía del Tolueno

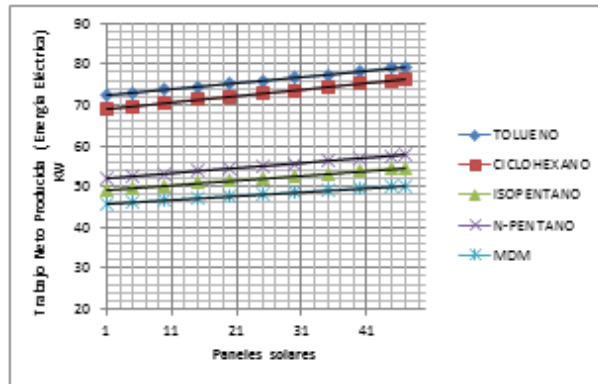


Fuente: Autores, 2020

La eficiencia del ciclo modelado alcanza un rendimiento con el regenerador de 20 % produciendo una potencia neta de 72 kW. El n-Pentano, Isopentano y MDM presentan una producción de potencia menor 52, 49 y 45 kW respectivamente como se muestra en el grafico 2. De los fluidos analizados se seleccionó al Tolueno debido a la producción de trabajo y eficiencia del ciclo mayor en comparación a los otros fluidos analizados dato correlacionado con (Casartelli et al., 2015; Chacartegui, Vigna, Becerra, & Verda, 2016; Cocco & Cau, 2015), quienes examinaron plantas de cilindro parabólico de 5 MW y 1 MW concluyendo que el tolueno es el trabajo más adecuado fluido, especialmente para niveles de temperatura cercanos a 400 ° C.

El n-pentano y el Isopentano pueden atribuir su bajo rendimiento a la proximidad de las condiciones de operación y sus puntos críticos, mientras que el MDM tiene una pendiente muy pronunciada en el diagrama T-s, presentando una alta entropía a la salida de la turbina que se convierte en energía no aprovechable para la producción de trabajo.

Grafico 2: Eficiencia y producción de potencia para los diferentes fluidos



Fuente: Autores, 2020

Cogeneración en el horno de cocción

En un día típico de producción, el horno de alta temperatura genera un flujo de gas de 4,6 kg s⁻¹ en promedio a una temperatura de 120°C como valor mínimo y un valor máximo de 176°C que son parámetros propios del proceso productivo, para este rango de temperaturas se modeló el trabajo neto producido. El sistema de híbrido presentara una mejor producción de potencia si y solo si el sistema por colectores solares presentan un tiempo de funcionamiento mayor a las de presencia solar esto ayudado con el storage tank (Yue & Lior, 2018). Este tipo de sistemas de cogeneración es de importante aplicación en procesos que presentan un flujo continuo de calor residual (Zameer & Wang, 2018), en las que se puede aumentar la eficiencia del sistema utilizando un híbrido con una fuente de energía renovable auxiliar (Mohammadi & McGowan, 2018).

En la tabla 3 y el grafico 2 muestran los resultados de producción de energía eléctrica respecto a la temperatura de entrada del calor residual donde el n-Pentano y MDM presentan similitud en su comportamiento con respecto a la temperatura de entrada del calor residual pero no se seleccionaron como los fluidos de trabajo óptimos para esta modelación debido a su baja producción de potencia neta y por el bajo rendimiento del ciclo. El comportamiento que presenta el Isopentano indica que a temperaturas menores a los 138°C este fluido no trabajara en el ORC,

ya que su aplicabilidad empieza a partir de los 138,7 °C lo cual se convierte en un factor importante para no considerarlo en estas condiciones.

El Tolueno y el Ciclohexano debido a su naturaleza química, estructuras cíclicas estables presentan comportamientos óptimos en la modelación y se lo puede atribuir a que no forman isómeros estructurales, por lo que la producción de Energía eléctrica es alta comparada con los otros fluidos (Aboelwafa, Fateen, Soliman, & Ismail, 2018; Tajik Mansouri, Amidpour, & Ponce-Ortega, 2019).

Tabla 1: Comparación de la producción de Energía eléctrica en relación con la Temperatura de entrada del calor residual del horno

T (°C)	W_net (kW)				
	Tolueno	Ciclohexano	Isopentano	Pentano	MDM
120	18	15	--	9	12
126	24	21	--	14	16
132	30	27	--	18	19
139	36	33	22	23	23
145	42	39	26	28	27
151	48	45	31	33	31
157	54	51	36	38	34
163	60	57	40	42	38
170	66	63	45	47	42
175	72	69	49	52	46

Fuente: Autores, 2020

Conclusiones

Este estudio es una investigación termodinámica de una planta solar alimentada con colectores cilíndrico-parabólicos. El flujo másico del calor residual proveniente del horno en las líneas de producción de cerámicas fue de 4,6 Kg s⁻¹, valor que se obtuvo a partir del valor de su flujo volumétrico promedio emitido por la chimenea del horno que es de 13535,8 m³ h⁻¹, considerándolo al calor residual como aire caliente con una temperatura que oscila entre los 120 y 175°C. Mediante los balances de energía radiante en Riobamba se determinó un promedio de 5,2 horas de heliofanía (luz solar) al día y la energía solar útil tiene una irradiación de 544.3 Wm⁻²

que se plantea pueda ser utilizada en un área de 660 m² equivalente a 47 paneles solares cilíndrico parabólico.

Analizados los fluidos de trabajo al Tolueno, Ciclohexano, Isopentano, n-Pentano y MDM, basándose la naturaleza del fluido, su Temperatura crítica y el rango de temperatura de salida del calor residual del horno, se tiene que el Tolueno es el fluido de trabajo óptimo para este sistema, ya que produce una potencia de 79 kW con una eficiencia del 20,52, mediante la utilización de 47 paneles solares que cubre el área de 660 m².

Referencias

1. Iminshawy NAS, Siddiqui FR, Sultan GI. Desarrollo de un sistema de desalinización impulsado por energía solar y calor residual de baja calidad. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2015; 103: 28–35. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.035>
2. Ziółkowski P, Kowalczyk T, Kornet S, Badur J. Sobre la utilización de calor residual de bajo grado de una planta de energía de vapor supercrítica utilizando un ciclo de fondo ORC junto con dos fuentes de calor. *Energy Convers Manag*. 2017; 146: 158–73.
3. Bellos E, Tzivanidis C. Investigación de un ORC híbrido impulsado por el calor residual y la energía solar. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2018; 156 (julio de 2017): 427–39. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.11.058>
4. Martínez S, Michaux G, Salagnac P, Bouvier JL. Sistemas de calor y energía micro combinados (micro-CHP) basados en fuentes de energía renovables. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2017; 154 (septiembre): 262–85. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.035>
5. Galindo Noguera AL, Mendoza Castellanos LS, Silva Lora EE, Melian Cobas VR. Diseño óptimo de un sistema híbrido diesel-ORC / fotovoltaico utilizando PSO: Estudio de caso para la ciudad de Cujubim, Brasil. *Energía*. 2018; 142: 33–45.
6. Navas SJ, Rubio FR, Ollero P. Control óptimo de campos solares cilindroparabólicos con radiación parcial. *IFAC-PapersOnLine* [Internet]. 2017; 50 (1): 109–14. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.019>
7. Salehi A, Mousavi SM, Fasihfar A, Ravanbakhsh M. Evaluaciones de energía, ejercicio y medio ambiente (3E) de una celda de combustible de carbonato fundido integrado (MCFC), motor Stirling y sistema de cogeneración del ciclo orgánico Rankine (ORC) alimentado por una biomasa gasificador de combustible. *Int J Hydrogen Energy* [Internet]. 2019; 44 (59): 31488–505. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.038>
8. Vittorini D, Antonini A, Cipollone R, Carapellucci R, Villante C. Central de energía solar térmica ORC para micro cogeneración - Análisis de rendimiento y estrategia de control.

- Procedimiento Energético [Internet]. 2018; 148 (Ati): 774-81. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.133>
9. Pereira JS, Ribeiro JB, Mendes R, Vaz GC, André JC. Sistemas de microgeneración basados en ORC para aplicaciones residenciales: una revisión de vanguardia y desafíos actuales. *Renovar Sustain Energy Rev* [Internet]. 2018; 92 (marzo): 728-43. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.039>
 10. Tzivanidis C, Bellos E, Antonopoulos KA. Investigación energética y financiera de una planta de energía independiente de ciclo orgánico de Rankine con energía solar térmica. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2016; 126: 421-33. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.033>
 11. Binotti M, Zhu G, Gray A, Manzolini G, Silva P. Análisis geométrico de los efectos tridimensionales de los colectores cilindroparabólicos. *Sol Energy* [Internet]. 2013; 88: 88-96. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.10.025>
 12. Karellas S, Leontaritis AD, Panousis G, Bellos E, Kakaras E. Análisis energético y ejercicio de los sistemas de recuperación de calor residual en la industria del cemento. *Energía* [Internet]. 2013; 58: 147-56. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.097>
 13. Arteconi A, Del Zotto L, Tascioni R, Cioccolanti L. Integración del sistema de modelado de una planta micro solar de ciclo Rankine orgánico en un edificio residencial. *Appl Energy* [Internet]. 2019; 251 (enero): 113408. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113408>
 14. Khalil KM, Mahmoud S, Al-Dadah RK, AL-Mousawi F. Análisis paramétrico de configuraciones de cuchillas para un expansor axial de nitrógeno a pequeña escala con ciclo híbrido abierto de Rankine. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2017; 142: 82-94. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2017.03.018>
 15. Xu G, Song G, Zhu X, Gao W, Li H, Quan Y. Evaluación del rendimiento de un sistema ORC supercrítico de generación de vapor directo impulsado por un concentrador solar de reflector lineal Fresnel. *Aplicación Therm Eng* [Internet]. 2015; 80: 196-204. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.12.071>
 16. Kocijel L, Mrzljak V, Glažar V. El análisis numérico de los parámetros geométricos y de proceso influyen en la estratificación de la temperatura en un gran tanque volumétrico de almacenamiento de calor. *Energía*. 2020; 194.

17. Zhang Y, Deng S, Zhao L, Lin S, Ni J, Ma M, et al. Optimización y modelado a escala múltiple del sistema piloto de poligeneración impulsado por energía solar basado en el ciclo orgánico de Rankine. *Appl Energy* [Internet]. 2018; 222 (marzo): 396–409. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.118>
18. Yue T, Lior N. Análisis termodinámico de ciclos híbridos de Rankine utilizando múltiples fuentes de calor de diferentes temperaturas. *Appl Energy* [Internet]. 2018; 222 (marzo): 564–83. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.002>
19. Zameer H, Wang Y. Optimización del sistema de producción de energía: evidencia de Pakistán. *Renovar Sustain Energy Rev* [Internet]. 2018; 82 (marzo de 2016): 886–93. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.089>
20. Mohammadi K, McGowan JG. Análisis termodinámico de ciclos híbridos basado en un ciclo regenerativo de vapor Rankine para cogeneración y trigeneración. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2018; 158 (diciembre de 2017): 460–75. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.080>
21. Tajik Mansouri M, Amidpour M, Ponce-Ortega JM. Integración óptima del ciclo orgánico de Rankine y los sistemas de desalinización con procesos industriales: nexo energía-agua-medio ambiente. *Aplicación Therm Eng* [Internet]. 2019; 158 (enero): 113740. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113740>
22. Aboelwafa O, Fateen SEK, Soliman A, Ismail IM. Una revisión sobre los ciclos solares de Rankine: fluidos de trabajo, aplicaciones y modificaciones de ciclos. *Renew Sustain Energy Rev*. 2018; 82 (julio de 2017): 868–85.
23. Chacartegui R, Vigna L, Becerra JA, Verda V. Análisis de dos integraciones de almacenamiento de calor para una planta de energía solar parabólica de ciclo orgánico de Rankine. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2016; 125: 353–67. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.03.067>
24. Casartelli D, Binotti M, Silva P, Macchi E, Roccaro E, Passera T. Estrategias de control de diseño fuera de bloque de energía para ciclos de ORC solares indirectos. *Procedimiento Energético* [Internet]. 2015; 69: 1220–30. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.166>

25. Cocco D, Cau G. Análisis energético y económico de la concentración de plantas de energía solar basadas en colectores parabólicos y colectores lineales de Fresnel. *Proc Inst Mech Eng Parte A J Energía Energía*. 2015; 229 (6): 677–88.

Reference

1. Iminshawy NAS, Siddiqui FR, Sultan GI. Development of a desalination system driven by solar energy and low grade waste heat. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2015;103:28–35. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.035>
2. Ziółkowski P, Kowalczyk T, Kornet S, Badur J. On low-grade waste heat utilization from a supercritical steam power plant using an ORC-bottoming cycle coupled with two sources of heat. *Energy Convers Manag*. 2017;146:158–73.
3. Bellos E, Tzivanidis C. Investigation of a hybrid ORC driven by waste heat and solar energy. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2018;156(July 2017):427–39. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.11.058>
4. Martinez S, Michaux G, Salagnac P, Bouvier JL. Micro-combined heat and power systems (micro-CHP) based on renewable energy sources. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2017;154(September):262–85. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.035>
5. Galindo Noguera AL, Mendoza Castellanos LS, Silva Lora EE, Melian Cobas VR. Optimum design of a hybrid diesel-ORC / photovoltaic system using PSO: Case study for the city of Cujubim, Brazil. *Energy*. 2018;142:33–45.
6. Navas SJ, Rubio FR, Ollero P. Optimum Control of Parabolic Trough Solar Fields with Partial Radiation. *IFAC-PapersOnLine* [Internet]. 2017;50(1):109–14. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.019>
7. Salehi A, Mousavi SM, Fasihfar A, Ravanbakhsh M. Energy, exergy, and environmental (3E) assessments of an integrated molten carbonate fuel cell (MCFC), Stirling engine and organic Rankine cycle (ORC) cogeneration system fed by a biomass-fueled gasifier. *Int J Hydrogen Energy* [Internet]. 2019;44(59):31488–505. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.038>

8. Vittorini D, Antonini A, Cipollone R, Carapellucci R, Villante C. Solar Thermal-Based ORC Power Plant for Micro Cogeneration - Performance Analysis and Control Strategy. *Energy Procedia* [Internet]. 2018;148(Ati):774–81. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.133>
9. Pereira JS, Ribeiro JB, Mendes R, Vaz GC, André JC. ORC based micro-cogeneration systems for residential application - A state of the art review and current challenges. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2018;92(March):728–43. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.039>
10. Tzivanidis C, Bellos E, Antonopoulos KA. Energetic and financial investigation of a stand-alone solar-thermal Organic Rankine Cycle power plant. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2016;126:421–33. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.033>
11. Binotti M, Zhu G, Gray A, Manzolini G, Silva P. Geometric analysis of three-dimensional effects of parabolic trough collectors. *Sol Energy* [Internet]. 2013;88:88–96. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.10.025>
12. Karellas S, Leontaritis AD, Panousis G, Bellos E, Kakaras E. Energetic and exergetic analysis of waste heat recovery systems in the cement industry. *Energy* [Internet]. 2013;58:147–56. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.097>
13. Arteconi A, Del Zotto L, Tascioni R, Cioccolanti L. Modelling system integration of a micro solar Organic Rankine Cycle plant into a residential building. *Appl Energy* [Internet]. 2019;251(January):113408. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113408>
14. Khalil KM, Mahmoud S, Al- Dadah RK, AL-Mousawi F. Parametric analysis of blade configurations for a small-scale nitrogen axial expander with hybrid open-Rankine cycle. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2017;142:82–94. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2017.03.018>
15. Xu G, Song G, Zhu X, Gao W, Li H, Quan Y. Performance evaluation of a direct vapor generation supercritical ORC system driven by linear Fresnel reflector solar concentrator. *Appl Therm Eng* [Internet]. 2015;80:196–204. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.12.071>
16. Kocijel L, Mrzljak V, Glažar V. Numerical analysis of geometrical and process parameters influence on temperature stratification in a large volumetric heat storage tank. *Energy*. 2020;194.

17. Zhang Y, Deng S, Zhao L, Lin S, Ni J, Ma M, et al. Optimization and multi-time scale modeling of pilot solar driven polygeneration system based on organic Rankine cycle. *Appl Energy* [Internet]. 2018;222(March):396–409. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.118>
18. Yue T, Lior N. Thermodynamic analysis of hybrid Rankine cycles using multiple heat sources of different temperatures. *Appl Energy* [Internet]. 2018;222(March):564–83. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.002>
19. Zameer H, Wang Y. Energy production system optimization: Evidence from Pakistan. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2018;82(March 2016):886–93. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.089>
20. Mohammadi K, McGowan JG. Thermodynamic analysis of hybrid cycles based on a regenerative steam Rankine cycle for cogeneration and trigeneration. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2018;158(December 2017):460–75. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.080>
21. Tajik Mansouri M, Amidpour M, Ponce-Ortega JM. Optimal integration of organic Rankine cycle and desalination systems with industrial processes: Energy-water-environment nexus. *Appl Therm Eng* [Internet]. 2019;158(January):113740. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113740>
22. Aboelwafa O, Fateen SEK, Soliman A, Ismail IM. A review on solar Rankine cycles: Working fluids, applications, and cycle modifications. *Renew Sustain Energy Rev*. 2018;82(July 2017):868–85.
23. Chacartegui R, Vigna L, Becerra JA, Verda V. Analysis of two heat storage integrations for an Organic Rankine Cycle Parabolic trough solar power plant. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2016;125:353–67. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.03.067>
24. Casartelli D, Binotti M, Silva P, Macchi E, Roccaro E, Passera T. Power Block Off-design Control Strategies for Indirect Solar ORC Cycles. *Energy Procedia* [Internet]. 2015;69:1220–30. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.166>
25. Cocco D, Cau G. Energy and economic analysis of concentrating solar power plants based on parabolic trough and linear Fresnel collectors. *Proc Inst Mech Eng Part A J Power Energy*. 2015;229(6):677–88.

Referências

1. Iminshawy NAS, Siddiqui FR, Sultan GI. Desenvolvimento de um sistema de dessalinização acionado por energia solar e calor residual de baixo teor. *Gerenciamento de Conversão de Energia* [Internet]. 2015; 103: 28–35. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.035>
2. Ziółkowski P, Kowalczyk T, Kornet S, Badur J. Na utilização de calor residual de baixa qualidade de uma usina a vapor supercrítica usando um ciclo de fundo ORC acoplado a duas fontes de calor. *Energy Convers Manag.* 2017; 146: 158–73.
3. Bellos E, Tzivanidis C. Investigação de um ORC híbrido impulsionado por calor residual e energia solar. *Gerenciamento de Conversão de Energia* [Internet]. 2018; 156 (julho de 2017): 427–39. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.11.058>
4. Martinez S., Michaux G., Salagnac P., Bouvier JL. Sistemas combinados de energia e calor (micro-CHP) baseados em fontes de energia renováveis. *Gerenciamento de Conversão de Energia* [Internet]. 2017; 154 (setembro): 262–85. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.035>
5. Galindo Noguera AL, Mendoza Castellanos LS, Silva Lora EE, Melian Cobas VR. Projeto ideal de um sistema híbrido diesel-ORC / fotovoltaico usando PSO: estudo de caso para a cidade de Cujubim, Brasil. *Energia.* 2018; 142: 33–45.
6. Navas SJ, Rubio FR, Ollero P. Controle ótimo de campos solares através de radiação parabólica. *IFAC-PapersOnLine* [Internet]. 2017; 50 (1): 109–14. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.019>
7. Salehi A, Mousavi SM, Fasihfar A, Ravanbakhsh M. Avaliações de energia, exergia e meio ambiente (3E) de uma célula a combustível de carbonato fundido (MCFC) integrada, motor Stirling e sistema de cogeração com ciclo orgânico Rankine (ORC) alimentado por uma biomassa gaseificador a combustível. *Int J Energia a hidrogênio* [Internet]. 2019; 44 (59): 31488–505. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.038>
8. Vittorini D, Antonini A, Cipollone R, Carapellucci R, Villante C. Usina de energia solar ORC com base térmica para microgeração - Análise de desempenho e estratégia de controle.

- Energia Procedia [Internet]. 2018; 148 (Ati): 774–81. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.133>
9. Pereira JS, Ribeiro JB, Mendes R, Vaz GC, André JC. Sistemas de micro-cogeração baseados em ORC para aplicação residencial - Uma revisão avançada e os desafios atuais. *Renovar Sustain Energy Rev* [Internet]. 2018; 92 (março): 728–43. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.039>
 10. Tzivanidis C, Bellos E, Antonopoulos KA. Investigação energética e financeira de uma usina solar térmica térmica do ciclo orgânico de Rankine. *Gerenciamento de Conversão de Energia* [Internet]. 2016; 126: 421–33. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.033>
 11. Binotti M, Zhu G, Gray A, Manzolini G, Silva P. Análise geométrica dos efeitos tridimensionais de coletores parabólicos. *Sol Energia* [Internet]. 2013; 88: 88–96. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.10.025>
 12. Karellas S, Leontaritis AD, Panousis G, Bellos E, Kakaras E. Análise energética e exergetica de sistemas de recuperação de calor residual na indústria de cimento. *Energia* [Internet]. 2013; 58: 147–56. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.097>
 13. Arteconi A, Del Zotto L, Tascioni R, Cioccolanti L. Modelando a integração de sistemas de uma usina de ciclo orgânico Rankine micro solar em um edifício residencial. *Appl Energy* [Internet]. 2019; 251 (janeiro): 113408. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113408>
 14. Khalil KM, Mahmoud S, Al-Dadah RK, AL-Mousawi F. Análise paramétrica de configurações de lâminas para um expansor axial de nitrogênio em pequena escala com ciclo híbrido de Rankine aberto. *Gerenciamento de Conversão de Energia* [Internet]. 2017; 142: 82–94. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2017.03.018>
 15. Xu G, Song G, Zhu X, Gao W, Li H, Quan Y. Avaliação de desempenho de um sistema ORC supercrítico de geração direta de vapor acionado por concentrador solar linear refletor Fresnel. *Appl Therm Eng* [Internet]. 2015; 80: 196–204. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.12.071>
 16. Kocijel L, Mrzljak V, Glažar V. A análise numérica dos parâmetros geométricos e de processo influencia na estratificação da temperatura em um grande tanque volumétrico de armazenamento de calor. *Energia*. 2020; 194.

17. Zhang Y, Deng S, Zhao L, Lin S, Ni J, Ma M, et al. Otimização e modelagem em escala multi-tempo do sistema piloto de poligeração solar, baseado no ciclo orgânico de Rankine. *Appl Energy* [Internet]. 2018; 222 (março): 396–409. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.118>
18. Yue T, Lior N. Análise termodinâmica de ciclos híbridos de Rankine usando múltiplas fontes de calor de diferentes temperaturas. *Appl Energy* [Internet]. 2018; 222 (março): 564–83. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.002>
19. Zameer H, Wang Y. Otimização do sistema de produção de energia: Evidências do Paquistão. *Renovar Sustain Energy Rev* [Internet]. 2018; 82 (março de 2016): 886–93. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.089>
20. Mohammadi K, McGowan JG. Análise termodinâmica de ciclos híbridos com base em um ciclo Rankine de vapor regenerativo para cogeração e trigeração. *Gerenciamento de Conversão de Energia* [Internet]. 2018; 158 (dezembro de 2017): 460–75. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.080>
21. Tajik Mansouri M., Amidpour M., Ponce-Ortega JM. Integração ideal do ciclo orgânico Rankine e sistemas de dessalinização com processos industriais: nexos energia-água-ambiente. *Appl Therm Eng* [Internet]. 2019; 158 (janeiro): 113740. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113740>
22. Aboelwafa O, Fateen SEK, Soliman A, Ismail IM. Uma revisão sobre os ciclos solares Rankine: Fluidos de trabalho, aplicações e modificações de ciclo. *Renovar Sustain Energy Rev*. 2018; 82 (julho de 2017): 868–85.
23. Chacartegui R, Vigna L, Becerra JA, Verda V. Análise de duas integrações de armazenamento de calor para uma usina de energia solar por meio de uma usina de energia solar por meio de uma usina de energia solar por meio de ciclo parabólico orgânico. *Gerenciamento de Conversão de Energia* [Internet]. 2016; 125: 353–67. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.03.067>
24. Casartelli D, Binotti M, Silva P, Macchi E, Roccaro E, Passera T. Estratégias de controle off-design de blocos de potência para ciclos solares indiretos de ORC. *Energia Procedia* [Internet]. 2015; 69: 1220–30. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.166>

25. Cocco D, Cau G. Análise energética e econômica de usinas de energia solar concentrada com base em calha parabólica e coletores lineares de Fresnel. Proc Inst Mech Eng Part A J Power Energy. 2015; 229 (6): 677–88.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).