

Generación de Vapor para una Destilería Tequilera Mediante Aceite Calentado por Energía Solar

E. Martínez Orozco^{#*1}, N. Santiago Olivares^{#*2}, S. Iñiguez Gómez^{#3}, J. C. León Tavares^{*4}

[#]Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Arandas, Jalisco, México, Departamento de Ingeniería Ambiental.

^{*}Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Arandas, Jalisco, México, Departamento de Ingeniería Electromecánica.

¹edgardo.martinez@arandas.tecmm.edu.mx, ²norberto.santiago@arandas.tecmm.edu.mx,

³samuel.iniguez@arandas.tecmm.edu.mx, ⁴motocarlos12@gmail.com

Resumen—En esta investigación se abordan las dimensiones y la viabilidad de implementar un parque de concentradores de radiación solar como equipo auxiliar para la generación de vapor en los procesos de cocimiento del agave y de destilación en una tequilera. Se analizan las condiciones de radiación solar directa, nubosidad, velocidad del viento y la traslación del sol a lo largo del año para evaluar las condiciones de operación en el municipio de Atotonilco el Alto Jalisco. Se evalúa la factibilidad de usar un concentrador o un modelo existente en el mercado, las especificaciones de algunos modelos, los costos de la tecnología de cilindro parabólica en México y la viabilidad del proyecto. Se analiza la conducta del fluido en la tubería y las condiciones de operación de un intercambiador de calor apto para el flujo del fluido térmico. Se aborda el impacto ambiental que provoca el consumo de combustibles fósiles y el beneficio que representaría la implementación de un parque de concentradores cilindro-parabólicos sin modificar las consideraciones de operación de la planta.

Palabras clave — Caldera, Combustibles, Energía alternativa, Fluido térmico, Radiación.

I. INTRODUCCIÓN

La industria utiliza en gran medida combustibles fósiles, los cuales son fuentes de energía “contaminante” ya que provoca una mayor emisión de dióxido de carbono (se ha duplicado su concentración desde principios del siglo XX hasta ahora) resultando en un incremento de temperatura o calentamiento global que tiene como consecuencia el conocido cambio climático [1]. Se calcula que en unos 100 años se habrán agotado todas las reservas de combustible fósil.

El 81 % de los consumidores globales cree que las organizaciones deben ayudar a mejorar el ecosistema. En ese sentido, usar energías renovables en lugar de combustibles fósiles tradicionales permite a las compañías mostrarle al público que realmente se preocupan por el cuidado del medioambiente, lo que mejora su imagen y relaciones públicas [2].

El tequila, una de las industrias más importantes de la región de los altos de Jalisco, utiliza combustibles fósiles para generar vapor y con el cocimiento del agave se emplea entre 0.5 y 1.0 litros de combustóleo ligero por litro de tequila producido.

Considerando que la irradiación global media diaria en México es de alrededor de 5.5 kWh/m², la tecnología de concentradores cilindro parabólicos encaja con el rango de temperatura del fluido térmico deseado (140 °C – 170 °C) y se han instalado varios parques de concentradores cilindro parabólicos en Jalisco a cargo de Inventive Power [3]. Las cuestiones para abordar en este proyecto son ¿Cuáles son las ventajas? ¿Cuáles son las desventajas? y ¿Qué tan viable es utilizar concentradores cilindro parabólicos para generar vapor en una tequilera?

II. OBJETIVOS

Diseñar un sistema generador de vapor a partir de aceite térmico calentado en un parque de recolección de energía solar para reducir el uso de combustibles fósiles y evaluar su viabilidad económica para su uso en una tequilera.

III. MARCO TEÓRICO

Un primer acercamiento a la tecnología termo solar se dio en 1615 con Salomon de Caux, cuando construyó la primera máquina solar a partir de diversos estudios sobre la condensación y expansión del vapor [4]. En la década de 1870 el sueco-americano John Ericsson hizo funcionar su máquina de aire caliente con un concentrador parabólico, este invento sumaba tres elementos fundamentales: un espejo concentrador, una caldera y una máquina de vapor. En 1872, Ericsson probó un método totalmente diferente: calentar el aire, en lugar de utilizar agua, contenido en un cilindro situado en el foco de un reflector curvo. Ericsson quedó sorprendido por el rendimiento de su motor. Pero tres años después, se templaron sus ánimos al darse cuenta que el aparato concentrador es tan grande y tan caro que los motores

activados por energía solar resultaban en la práctica más costosos que sus análogos movidos por carbón [5].

En 1885, Carles Tellier desarrolló colectores solares de baja temperatura para impulsar máquinas, que utilizaban vapor presurizado de líquidos con temperaturas de ebullición muy por debajo de la del agua, como el amoníaco. De la exposición solar obtenía una razón de 300 galones por hora durante las horas más iluminadas del día. En 1907 Dr. Wilhelm Maier (en Aalen) y Adolf Remshardt patentaron en Alemania un diseño sobre colectores parabólicos (Parabolic trough collector, PTC) [5].

En 1912, Frank Shuman, en colaboración con C.V. Boys, se comprometieron a construir la más grande planta de bombeo del mundo en Meadi, Egipto. El sistema se puso en funcionamiento en 1913, utilizando largos concentradores cilindro-parabólicos para enfocar la luz solar en un tubo absorbente largo. Cada cilindro tenía 62 m de largo y el área total de los bancos de cilindros fue de 1200 m². El motor solar desarrolló entre 37 y 45 kW continuamente durante un período de 5 h [6].

Sin embargo, estas tecnologías eran más costosas que su contraparte potenciada por combustibles fósiles. Es hasta la década de 1970's que se retoma el verdadero interés en esta tecnología como una clara respuesta a la crisis petrolera por el incremento disparado de los precios de los hidrocarburos. En dicha época tanto el departamento de energía de los Estados Unidos (DOE), así como el Ministerio Alemán de Investigación y Tecnología, se encargaron de patrocinar en sus respectivos países el desarrollo de una serie de procesos y sistemas de bombeo de agua y calor con concentradores parabólicos [5].

De 1984 a 1991, los avances en sistemas de concentración parabólica fueron notables con el desarrollo de una serie de plantas comerciales solares de 15 MW a 80 MW a cargo de Luz Internacional por parte de una empresa americana que instaló esta tecnología en el desierto de Nevada. En 1991 se construyó la primera central eléctrica comercial con una capacidad de 354 MW, basada sobre el concepto de energía solar concentrada en California, Estados Unidos [4].

El uso de estas tecnologías no se ha implementado con la misma intensidad en todos los países, existen diversos factores que potencian o reducen su implementación el caso más notorio se encuentra en España “donde a día de hoy han entrado en operación un total de 952,4 MWe. De estas centrales, 18 tienen 50 MW de potencia con tecnología de captadores cilindro-parabólicos y otras 25 se encuentran en fase de construcción avanzada [7]”.

En varios estados de México, entre ellos Jalisco ya se han implementado una serie de parques de concentradores

cilindro-parabólicos para diversas aplicaciones industriales y agrícolas a cargo de Inventive Power [3].

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Componentes

La unidad propuesta se compone de reflectores cilindro-parabólico con tubo absorbedor, montados sobre una estructura metálica y un sistema de seguimiento solar (Fig.1), una bomba y una caldera.

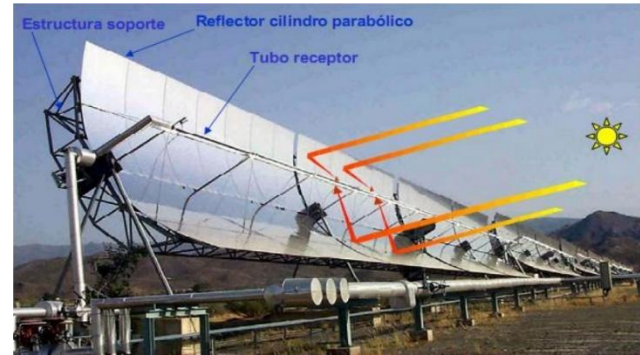


Fig. 1. Componentes [8].

2. Tubo absorbedor

Cuando la temperatura de trabajo es inferior a los 200°C, es posible usar tubos absorbedores sin vacío y con el tubo interior metálico provisto de una pintura térmica de alta absorptividad (>94%) y característica plana en todo el espectro solar. El menor coste de este tipo de tubo frente a los tubos de vacío compensa las pérdidas térmicas porque la temperatura de trabajo no es demasiado alta [9].

3. Relación de concentración

La razón de concentración geométrica, $c_{geométrica}$, es la razón entre el área de abertura o captación del captador y el área total del tubo absorbedor metálico; este parámetro definirá las temperaturas alcanzadas en el tubo caloportador, “los valores típicos de los captadores cilindros parabólicos están entre 20 y 30 [9].

$$c_{geométrica} = \frac{l_a \cdot l}{\pi \cdot d_0 \cdot l} = \frac{l_a}{\pi \cdot d_0} \quad (1)$$

Donde:

- d_0 Diámetro exterior del tubo absorbedor
- l Longitud del concentrador cilindro-parabólico
- l_a Longitud del concentrador cilindro-parabólico

4. Ángulo de aceptación

El ángulo de aceptación es el máximo ángulo que pueden formar dos rayos en un plano transversal a la apertura del colector, de forma que ambos rayos reflejados intercepten al tubo receptor en su reflexión, Fig. 2 [10].

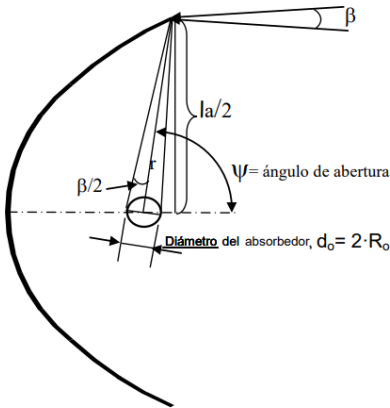


Fig. 2. Aceptancia [10].

5. Reflectividad

La reflectividad del material refiere al porcentaje de radiación que puede reflejar y afecta directamente en la eficiencia del concentrador, obtener eficiencias elevadas puede incrementar los costos o incrementar los materiales de soporte para evitar que la torsión afecte la eficiencia.

6. Radiación en la zona

Para determinar la factibilidad en el estudio es necesario realizar una investigación de la radiación en la zona, para ello se investigaron datos de la Secretaría de Energía e instituciones internacionales.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Base de dimensionamiento.

En la Tabla I se indican los parámetros de la caldera de una tequilera de la región, contemplando una potencia de 362 kW.

TABLA I
POTENCIA NOMINAL

Potencia nominal			
Litros consumidos	80000	L	
Eficiencia de caldera	87%		
Cp. del fueloil No.4	145,000	BTU/GAL	40413.8591 kJ/L
Tiempo	3	meses	2160 horas
Potencia	361.728986	kW	

B. ¿Comprar o Fabricar?

Es aconsejable pensar en un captador con un tamaño moderado de la parábola cuando se quiera dedicar a aplicaciones industriales de procesos de calor. Un tamaño adecuado para este tipo de procesos son los captadores de las firmas IST y SOLITERM [9]. Se compararon los costo-beneficio de los tubos Soliterm plus PTC1800 (Soliterm, $l_a = 1.80$ m), Polythrough 1800 (Nepsolar, $l_a = 1.75$ m) y VTPC (Vicot Solar Technology, $l_a = 2.50$ m), siendo el último con la mejor $c_{geométrica}$ y ofreciendo sistema de protección contra sobrecalentamiento.

C. Radiación en la zona

Con base en los datos reportados por la Secretaría de Energía [11], se obtiene el promedio anual del potencial de radiación directa en la zona, Tabla II.

TABLA II
POTENCIAL DE RADIACIÓN DIRECTA

Potencial de radiación directa	
Potencial de radiación	6 KWh /m ² día
Proporción de radiación directa	66%
Valor aproximado del potencial de radiación directa	3.96 KWh /m ² día

D. Tamaño del parque solar y su impacto ambiental

Considerando una potencia máxima de 362 kW se considera un sistema VSS0350G (350 kW) que consta de un arreglo de seis filas de grupos de 15 concentradores de 4.29 metros de largo, 675 m² de superficie efectiva en los concentradores, y operara de manera ideal con una radiación directa de 3.96 kWh/m².día (el dato que se obtuvo en el apartado de investigar radiación en la zona) podría ahorrar el consumo de hasta 16,072 litros de combustóleo, que equivalen a 42,108 kg de CO₂.

E. Viabilidad económica

Con los datos proporcionados por la plataforma IRENA, de los costos de la tecnología cilindro parabólica en México durante el año 2015 por kW instalado, se hizo un análisis rápido de la viabilidad del proyecto, debido a su baja probabilidad de éxito, resultando en un costo de implementación entre 210,000-400,000 USD. Si consideramos que el litro de combustóleo cuesta 9.50 MXN por litro, se tendría un ahorro anual de 8482 USD, lo que repercute en un retorno de inversión de 25 a 47 años.

Basado en lo anterior no es viable implementar esta tecnología en una tequilera por el momento, es necesario que haya una modificación de precios para que pueda resultar atractivo, idealmente con un retorno de inversión a 5-10 años. Se espera que este estudio sirva como base a la industria tequilera en un futuro ya sea por leyes ambientales más estrictas o para un considerable incremento de precios en los combustibles.

Los resultados del proyecto son claros, una tecnología cilindro-parabólica primitiva, diseñada con pocos recursos y para ser construida de manera local con materiales de fácil acceso, se traduce en eficiencias bajas, tiempos de vida indefinidos, complicaciones en su implementación y la posibilidad de un fracaso rotundo, ante las indicaciones de diversas fuentes, los resultados obtenidos en diversos prototipos de fácil producción, las dificultades para hacer

análisis indispensables como el de torsión, las pérdidas de reflectividad de los materiales con el tiempo, la implementación de un sistema de seguimiento y la eficiencia real del dispositivo desarrollado, se determinó que se necesitan más recursos y equipo para desarrollar equipos eficientes y duraderos.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez por las facilidades para llevar a cabo la presente investigación.

REFERENCIAS

- [1] Ambientum, "Principales problemas del uso de combustibles fósiles," 07 de Mar de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://www.ambientum.com/ambientum/energia/principales-problemas-del-uso-de-combustibles-fosiles.asp>
- [2] Conexionesan, "¿Cómo las empresas pueden beneficiarse de las energías renovables?," 26 de May de 2021. Universidad ESAN [En línea]. Disponible en: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2021/05/como-las-empresas-pueden-beneficiarse-de-las-energias-renovables/>
- [3] H. Ortega, "Energía Solar Termica Para Procesos Industriales en Mexico," CDMX: SENER, 2018. [En línea] Disponible en: https://www.giz.de/de/downloads/EnergiaSolarTermica_02_LOWRES.pdf
- [4] K. M. Velazquez, "Construccion y evaluacion de un concentrador solar de canal parabolico para calor de proceso de baja entalpia", Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana: XA, Veracruz, 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.lareferencia.info/vufind/Record/MX_418b53b14f565bf78c8416bb46082aaa
- [5] L. G. Vidriales Escobar, "Colector de Canal Parabolico para la Generacion Directa de Vapor para Calor de Proceso," Tesis de Maestría. Univerisdad Nacional Autonoma de Mexico: CDMX, Mexico. 2007. [En línea]. Disponible en: <https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/pdfviewer/?file=/pd2007/0620116/0620116.pdf>.
- [6] S. Kalogirou, Solar Energy Engineering: processes and systems, E.U.A: Academic Press, 2014.
- [7] S. Garcia, "Guia Tecnica de la energia Solar Termoelectrica," Madrid: Comunidad de Madrid, 2012.
- [8] A. Gómez Mercado, N. R. Aguilar Flores, M.E. Rodríguez Castillo, "Concentrador solar para generación de energía eléctrica en el ITP," *Memorias del XIX congreso internacional anual de la SOMIM*, 2013.
- [9] E. Zarza, "Diseño de captadores y de campos de captadores cilindroparabólicos". En *Modulo Electricidad Termosolar*. Escuela de Organizacion Industrial: Madrid, España, pp. 3-35, 2015.
- [10] C. Paredes, Diseño de captador solar cilíndrico parabólico, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas : Paraguay, 2012.
- [11] Secretaria de Energia, Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias AZEL, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://dgel.energia.gob.mx/azel>.