

17. Ciencia, Tecnología e Innovación

Construcción y análisis de un concentrador solar parabólico

Cuadra, Valeria; valecuadra09@gmail.com

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de Itapúa

Resumen

La búsqueda de alternativas en la producción de energía eléctrica, para la diversificación de la matriz nacional, propició el estudio de los motores Stirling en la Facultad. Para captar la irradiación como fuente de calor se construyó un concentrador solar de disco parabólico, aprovechando el área de captación de una antena de televisión desechada. Se probaron tres materiales posibles como reflectantes, para la elección del vidrio espejado de 2 mm de espesor como mejor opción. Para aumentar la captación energética, el concentrador dispone de soportes fabricados, que permite el seguimiento solar, y que facilitó el estudio teórico de las velocidades de transferencia de calor y eficiencia. Se realizaron mediciones y cálculos, que arrojaron una eficiencia del concentrador, cercana al 30% y valores importantes de potencia térmica de calentamiento, de acuerdo a la irradiancia solar del día considerado.

Palabras clave: concentrador parabólico; energía solar; eficiencia.

Introducción

El Decreto N° 6092/2016 que establece la política energética de la república del Paraguay tiene como objetivos principales los siguientes:

1. Garantizar la seguridad energética con criterios de autoabastecimiento, eficiencia, mínimo costo, con responsabilidad socio - ambiental, que acompañe el desarrollo productivo del país.
2. Asegurar el acceso a la energía de calidad a toda la población con atención a los derechos del consumidor.
3. Utilizar las fuentes nacionales de energía (hidroelectricidad, bioenergías y otras fuentes alternativas) e incentivar la producción de hidrocarburos, como recursos estratégicos para reducir la dependencia externa e incrementar la generación de mayor valor agregado nacional.
4. Consolidar la posición del Paraguay como eje de la integración energética regional en base al aprovechamiento sostenible de sus recursos naturales y su estratégica localización geográfica.
5. Propiciar, en la población, la comprensión sobre la importancia de la energía y su uso sostenible como factor de desarrollo integral.

Según la Ley N° 5102/13 de alianza público – privada, que promueve la inversión conjunta para el mejoramiento de la infraestructura pública y la prestación de servicios, se debe avanzar en tres aspectos principales, con respecto a la energía, que son los siguientes:

1. El mejoramiento de la eficiencia energética.
2. La ampliación del servicio de provisión de energía eléctrica mediante generación distribuida en sistemas aislados, para atender a localidades distantes con baja población donde la extensión de líneas eléctricas no sea técnicamente factible por cuestiones de estabilidad o restricciones económicas por la escasa demanda.
3. La diversificación de la matriz energética con la utilización de tecnologías de energías alternativas.

Por tanto, tomando como ejes los puntos citados del Decreto y la Ley, la Facultad de Ingeniería inició el análisis y construcción de motores Stirling, para lograr la producción de energía eléctrica de manera no convencional y aislada de la red. Los resultados podrán tomarse como experiencias iniciales de factibilidad técnica, en el país, útiles para futuros proyectos de alta envergadura.

Como la matriz energética nacional está conformada por la producción y consumo de energía hidroeléctrica, consumo de biomasa y exportación de combustibles derivados del petróleo; la utilización de la irradiación solar, es una buena alternativa para diversificarla.

En este trabajo, se estudia dicha posibilidad, que aprovecharía como fuente caliente de un motor Stirling, la irradiación solar, mediante la concentración y reflexión de las ondas sobre un concentrador parabólico.

Objetivo General

Evaluar la capacidad de calentamiento de un concentrador solar parabólico que se utilizará para el funcionamiento de un motor Stirling.

Objetivos específicos

- Establecer el material reflejante a utilizar para el concentrador.
- Construir el concentrador de disco parabólico con seguimiento solar.
- Realizar cálculos de potencia y eficiencia del concentrador.
- Determinar la velocidad de transferencia de calor al absorbedor mediante pruebas con valores diferentes de irradiancia.

Materiales y Métodos

1. Análisis de los materiales reflejantes

Para determinar el material reflejante a utilizar, se llevó a cabo un ensayo con 3 materiales diferentes, teniendo en cuenta la capacidad de reflectancia, la disponibilidad en el mercado y la maleabilidad. Se trabajaron con el papel aluminio adhesivo, la chapa inoxidable y el vidrio reflejante de 2 mm de espesor.

Se utilizaron como concentradores 3 antenas parabólicas de 66 cm de diámetro, las cuales fueron forradas cada uno con un material diferente, que pueden observarse en la Figura 1.



Figura 1. Discos parabólicos con diferentes recubrimientos.

En el foco de los paraboloides se ubicaron 3 recipientes de Aluminio pintados con un color negro mate. En cada recipiente se vertió 200 cm³ de agua, y la concentración solar para cada disco fue de 20 minutos. Se obtuvieron los siguientes valores de temperatura finales:

Tabla 1

Variación de Temperatura para materiales reflectantes.

Material	Temp. inicial	Tiempo minutos	Temp. final	Vol. cm ³
Acero Inox.	23,3°C	20	40,2°C	200
Papel Aluminio	23,3°C	20	46,3°C	200
Espejo de 2 mm	23,3°C	20	61,9°C	200

A partir de estos valores se optó por utilizar cristal espejado de 2 mm de espesor, cortando en cuadros de 3 cm de lado, para recubrir el disco parabólico, ya que otorga mayor velocidad de transferencia de calor.

2. Construcción del concentrador solar

Para la construcción del concentrador solar, se aprovechó una antena parabólica de aluminio, con un diámetro de 1,24 m. Se fabricó una base tipo trípode, con tubería circular de 3/4 pulgadas, que sostiene el arco, hecho del mismo material, que posibilitará el seguimiento solar. En la Figura 2 se observa el concentrador solar con su sistema de seguimiento.



Figura 2. Concentrador solar parabólico con su soporte y sistema de seguimiento.

Para mejorar el movimiento y estabilidad del concentrador; transversal al arco de tubería circular, se adaptó un arco de tubo cuadrado de 20 mm de lado con 157 dientes que encajan en un tornillo sin fin que permite el movimiento (Figura 3).

Con estos soportes, se podrá ajustar también el ángulo de inclinación de la superficie captadora de acuerdo a los meses y las estaciones del año.



Figura 3. Tornillo sin fin, y arco con dientes, para el seguimiento solar.

El arco-engranaje, posiciona al sol según la hora o movimiento de rotación que realiza el planeta Tierra, ya que por cada vuelta del tornillo sin fin se desplaza un diente, teniendo que hacer 157 vueltas en doce horas, considerando el primer rayo de sol hasta el último.

Luego de ajustar el concentrador al soporte, se procedió a pegar los cristales espejados cuadrados de 2 mm de espesor y 3 cm de lado, mediante escuadras, punta de diamante y pegamento especial para altas temperaturas.



Figura 4. Concentrador solar con espejos como material reflectante.

3. Análisis del concentrador solar

Las ecuaciones siguientes se utilizaron para el análisis del concentrador (Pérez E; 2006). Se consideró que los rayos del sol son paralelos al eje del concentrador parabólico. La potencia de entrada se puede hallar con:

$$Q_s = I \pi R^2 \quad (1)$$

Q_s : velocidad de transferencia de calor o potencia térmica, de entrada (W).

I : irradiancia solar directa (W/m^2).

R : radio del círculo de apertura del colector (0,62 m).

La potencia solar concentrada en el absorbedor, está dada por la radiación solar reflejada por el colector sobre el plato del absorbedor.

$$Q = Q_s \alpha \rho \quad (2)$$

Q : potencia absorbida, concentrador (W).

Q_s : potencia térmica de entrada (W).

α : absorptividad del absorbedor; 0,5 para el acero inoxidable, Tabla 12.2, Incropera, F. P., De Witt, D. P. (1999).

ρ : reflectividad del reflector (0,795) de acuerdo a la Tabla 2.

El factor de concentración da una idea de la radiación solar útil que se concentra en el absorbedor, según las propiedades de los materiales del absorbedor y del reflector; se puede calcular con:

$$C = \frac{Q_{in}}{I \pi r^2} \quad (3)$$

Q_{in} : potencia absorbida, absorbedor (W).

I : irradiancia solar directa en (W/m^2).

r : radio de base del absorbedor (0,04 m).

Tabla 2

Reflectividad de materiales.

fibra de vidrio pintada de blanco	0'709
espejo de vidrio de 2 mm.	0'795
espejo de vidrio de 3 mm.	0'754
espejo de vidrio de 4 mm.	0'712
acero inoxidable	0'572
mylar	0'833
papel de aluminio	0'799

Fuente: Pérez E, L. (2006). Estudio teórico y de viabilidad de la radiación solar concentrada en un motor Stirling.

Si las pérdidas del colector se desprecian, el balance energético del absorbedor es:

$$Q_{in} = Q - Q_r - Q_c \quad (4)$$

$$Q_r = \varepsilon \sigma \pi r^2 (T_a^4 - 9,2845 \cdot 10^{-6} T_\infty^6) \quad (5)$$

$$Q_c = 16,9 v^{0,45} \pi r^2 (T_a - T_\infty) \quad (6)$$

Q_{in} : potencia útil en el absorbedor (W).

Q : potencia absorbida por el concentrador.

Q_r : potencia perdida por radiación.

Q_c : potencia perdida por convección.

ε : emisividad; para inox es 0,21 Tabla 12.2 Incropera, F. P., De Witt, D. P. (1999).

σ : constante de Stefan-Boltzmann, $5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$.

r : radio del área del absorbedor (0,04 m).

T_a : temperatura del absorbedor (K).

T_∞ : temperatura del medio ambiente (K).

v : velocidad del viento (m/s).

La relación entre la energía útil colectada y la irradiación solar es la eficiencia del concentrador:

$$\eta = \frac{Q_{in}}{Q_s} \quad (7)$$

Se utilizaron los reportes de meteorología expuestas en la página de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC) del Paraguay y de la Universidad Nacional de Itapúa (UNI). Se seleccionó un día de cada mes para la extracción de los datos, cercano al mediodía solar.

Para obtener las potencias y la eficiencia, fue necesario establecer una temperatura del foco caliente (T_a , temperatura del absorbedor), que correspondería a la temperatura de funcionamiento de un posible motor Stirling.

Como uno de los objetivos de la concentración es el aumento de la temperatura de trabajo del sistema, y el aprovechamiento térmico, se recurrió a una curva optimizada para un caso similar (Pérez E; 2006) y se tomó un valor promedio de 600 K para los cálculos, estimada a partir de la Figura 5, que muestra la evolución de la temperatura óptima en el caso más favorable, *Th2ms*, y menos favorable, *Th2dh*, al variar el área del absorbedor.

4. Captación de energía

Se recicló un filtro de combustible para usarlo como absorbedor y fue ubicado

mediante un soporte en el foco del concentrador solar.

El proceso de captación consistió en enfocar los rayos solares sobre el recipiente con agua hasta que ocurra la ebullición y la determinación del tiempo necesario, para luego calcular la energía necesaria para elevar a esa temperatura y determinar la potencia.

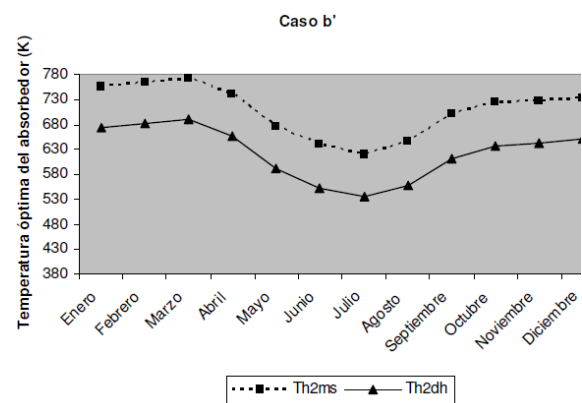


Figura 5. Temperatura óptima de un absorbedor con área similar al caso estudiado.

Resultados y Discusión

Con respecto a los materiales reflejantes, el papel aluminio adhesivo, fue muy maleable a la hora de ser aplicado, pero no se obtuvo resultados favorables con el mismo. El uso de la chapa de acero inoxidable, de alto costo, complicó su uso en el corte y aplicación sobre el disco parabólico, y las tiras tuvieron que ser remachadas. La placa de vidrio reflejante o espejo resultó más práctico, tanto en el costo, el corte y aplicación, además de que los resultados fueron satisfactorios, pues la temperatura aumentó **30% a 50%** más para el mismo tiempo de captación.

Se determinaron los diferentes valores de potencia y la eficiencia del concentrador (Tabla 3), utilizando las ecuaciones del (1) al (7), tomando como base una temperatura de 600 K para un posible motor Stirling, promedio de temperaturas óptimas mensuales.

Tabla 3

Análisis del concentrador de disco parabólico.

Fecha 2018	23/01	21/02	21/03	21/04	21/05
T_{∞} (K)	305	301,3	299,4	303,3	290,1
V (m/s)	2,22	1,38	3,61	2,22	0,83
I (W/m^2)	1004	877	820	643	223
Q_r (W)	7,3	7,3	7,4	7,3	7,4
Q_c (W)	35,8	29,3	45,5	36,1	24,2
Q_s (W)	1212,5	1059,1	990,3	776,5	269,3
Q (W)	482	421	393,6	308,7	107
Q_{in} (W)	438,9	384,4	340,7	265,3	75,4
C	87	87,2	82,6	82	67,2
η	0,36	0,36	0,34	0,34	0,28

Las pruebas de calentamiento de agua hasta los 100°C permitieron determinar el tiempo necesario para alcanzar el cambio de fase y la velocidad de transferencia de calor correspondiente. Los resultados se pueden observar en la Tabla 4.

El tiempo necesario para llegar al punto de ebullición, no difiere mucho entre las muestras de masa diferente, y se puede observar los valores de potencia que se obtuvieron, con el concentrador bien enfocado y en horario cercano al mediodía solar, momento en el cual se tiene la mayor irradiancia en el día.

Tabla 4

Tiempo y potencia necesarios para llegar a la ebullición del agua.

Mediciones realizadas					
Hora	T_1 (K)	T_2 (K)	Tiempo (min)	Masa (kg)	Q (W)
Primer ensayo: 02/12/17 (sin datos irradiancia)					
12:57	304	373	4:30,9	0,2	213
13:03	303	373	5:18,7	0,2	184
Segundo ensayo: 17/02/18 (912 y 672 W/m^2)					
12:30	304	373	6:05	0,5	395
14:37	304	373	5:00	0,5	480
Tercer ensayo: 25/05/18 (281 W/m^2)					
15:03	296	373	05:00	0,2	214

Conclusiones

Se construyó un concentrador de disco parabólico con seguimiento solar manual, utilizando como material reflejante vidrio espejado de 2 mm de espesor, debido a la mayor velocidad de aumento de la temperatura, y por ende, de la velocidad de transferencia de calor.

La eficiencia del concentrador solar parabólico que se utilizaría para el funcionamiento de motores Stirling, arrojó resultados teóricos cercanos al **30%**.

El tiempo de aumento de la temperatura hasta los 100°C es pequeño, pero será necesario realizar más mediciones hasta llegar a los valores máximos posibles. Éstas se realizarán cuando se haya construido el motor Stirling de pistón libre, y pueda observarse la variación de la temperatura durante el funcionamiento. Las potencias obtenidas en las

mediciones ya son valores importantes, pero podrían mejorarse.

El futuro sistema de generación eléctrica termosolar, pasará a formar parte del laboratorio de Termotecnia y Mecánica de la Facultad de Ingeniería.

Con este trabajo se aporta a la política energética vigente del Paraguay “Decreto N° 6092/2016”, el cuál insta a investigar sobre la energía solar, como forma alternativa de producir energía eléctrica.

Bibliografía

Beltrán R; Velázquez N; Saucedo D. (2011). *Análisis y diseño de un sistema de generación eléctrica termosolar con concentrador de disco parabólico y motor Stirling de 2,7 KW enfriado por aire*. Revista de Ingeniería, Investigación y Tecnología.

Durán Medina, P. (2012). *Diseño y construcción de un prototipo de concentrador solar parabólico de disco reflector para generación de energía térmica*. Tesis para el título de Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica. Instituto Politécnico Nacional. México.

<http://meteo.uni.edu.py/reportes.php>

Incropera, F. P., De Witt, D. P. (1999). *Fundamentos de la transferencia de calor*. 4ta Edición. Prentice Hall. México.

Jones J. B., Dugan R. E. (1997). *Ingeniería Termodinámica*. 1ra Edición. Prentice Hall. México.

Kongtragool, B., Wongwises, S. Optimum absorber temperature of a nonreflecting full conical concentrator of a low temperature differential Stirling engine. *Renewable Energy*. Núm. 30, 2005, p. 1671-1687.

Meteorología UNI-DINAC. Reportes.

Perez Escudero, L. (2006). *Estudio teórico y de viabilidad de la radiación solar concentrada en un motor Stirling*. Trabajo Final de Carrera en Ingeniería Industrial. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona.

Política Energética de la República del Paraguay [en PDF]. 2016. Decreto N° 6092/2016.

Promoción de la inversión en infraestructura pública y ampliación y mejoramiento de los bienes y servicios a cargo del estado. 2013. Ley N° 5102. Paraguay.

Agradecimientos

Por el apoyo y conocimientos brindados:

- Ing. E. José Cano C.
- Ing. Waldy A. Riveros S.
- Ing. Julián M. Lischuk B.-