

Evaluación de la energía térmica solar para generación de electricidad mediante un sistema Stirling en Huancayo

Solar thermal energy evaluation to generate electricity using a Stirling system in Huancayo

Juan Antonio Cámac Núñez¹
Universidad Continental
camacjc@gmail.com

Jacinto Arroyo Aliaga²
Universidad Continental
jarroyo@continental.edu.pe

Luis Enrique Astuhamán Artica³
Universidad Nacional del Centro del Perú

RESUMEN

El objetivo fue determinar de qué manera influye la radiación solar en la generación de energía eléctrica en la ciudad de Huancayo, usando un sistema de generación eléctrica basado en un motor Stirling. Se describe las características de la energía solar en estas coordenadas del centro del Perú y las características de conversión de radiación solar en energía eléctrica. La investigación tuvo un diseño experimental, se implementó un sistema de generación eléctrica basado en el diseño de un colector solar cilíndrico, que aplica la energía térmica a un motor Stirling para generar energía eléctrica, se analizó cada etapa de estos procesos, se realizó las pruebas de funcionamiento y generación de energía térmica, energía mecánica y eléctrica con las experimentaciones. Se logró implementar un módulo de generación eléctrica teniendo como fuente la energía solar; en este se logró obtener los resultados de experimentación, desde el ingreso de la radiación solar, la temperatura en foco de concentración, la generación de energía mecánica la que nos genera un potencial eléctrico de salida de acuerdo a sus características propias del generador y motor Stirling, en condiciones propias a la radiación solar de la zona geográfica de estudio. Se concluye que la implementación del sistema de generación eléctrica del sistema Stirling permite disponer de un sistema integrado con sus procesos analizados, que permitió evaluar los valores de potencial eléctrico que nos brinda la energía solar a condiciones experimentales en esta región geográfica de estudio.

Palabras clave: Radiación solar, motor Stirling, colector solar, generador de energía eléctrica.

ABSTRACT

The objective was to determine how solar radiation affects the electric power generation in Huancayo city, using an electric power generation system based on a Stirling engine. The solar energy characteristics described in these coordinates of the center of Peru and the solar radiation conversion characteristics into electrical energy. The research has an experimental design, an electric power generation system based on a solar collector cylinder design was implemented, which applies thermal energy to a Stirling engine to generate electric energy, each stage of these processes were analyzed; performance tests and thermal power generation, mechanical and electrical energy with the experiments were performed. As a result it was possible to implement an electric power generation module having solar energy as a source; it was possible to obtain experimental results from the solar radiation entry, the temperature in concentration focus, mechanical energy generation which generates an electrical output potential according to the generator and the Stirling engine characteristics, and according conditions to the solar radiation of the geographical area. In conclusion, the electrical generation implementation of the Stirling system allows to have an integrated system with its analyzed processes, which allowed to evaluate the electrical potential values that solar energy provides us in experimental conditions in this studied geographic region.

Keywords: Solar radiation, Stirling engine, solar collector, electric power generator.

Historial del artículo:

Recibido: 15 de septiembre de 2015. Aprobado: 18 de octubre de 2015. Disponible en línea: 30 de diciembre de 2015

1 Ingeniero de Sistemas e informática, asistente de investigación en el Observatorio de Huancayo, Instituto Geofísico del Perú; investigador de la Universidad Continental.

2 Investigador adjunto en el Observatorio de Huancayo, Instituto Geofísico del Perú; docente de la Universidad Continental.

3 Bachiller en Ingeniería Mecánica.

INTRODUCCIÓN

La producción y uso de energía es responsable de dos tercios de las emisiones de gases de efecto invernadero (1). El logro contra el cambio climático se mide en t de CO₂ no emitidas por día, el dióxido de carbono (CO₂) contribuye al calentamiento global en un 55 %, el metano en un 32 % (2); Empresas importantes relacionan áreas del conocimiento con desarrollo en

países, como EEUU y otros de Europa, poseen plantas piloto en operación, como la de Sandia National Laboratories en Nuevo México. En Maricopa, Arizona hay una planta de generación comercial con 60 discos que generan 1,5 MW. También en Odeillo, Francia, existe un disco parabólico de 52 kWh (4) que han contribuido a la reducción de gases de efecto invernadero.

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar

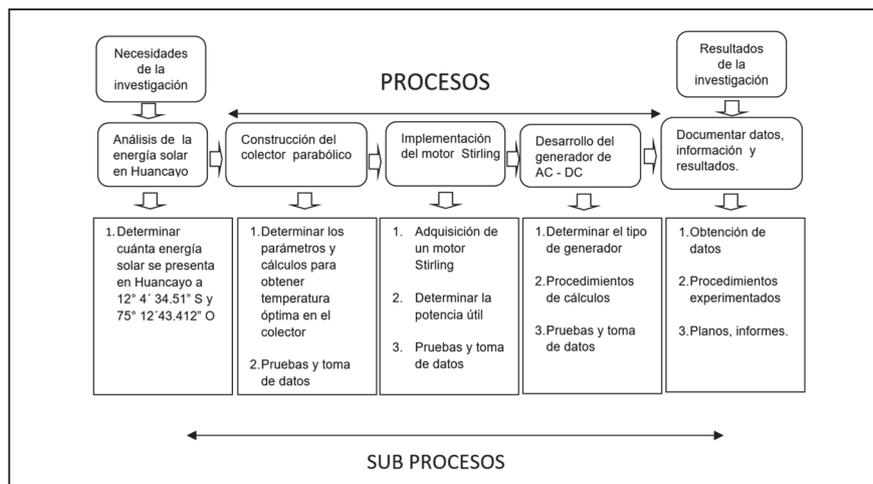


Figura N° 1: Macroproceso del sistema radiación solar en generación de energía.

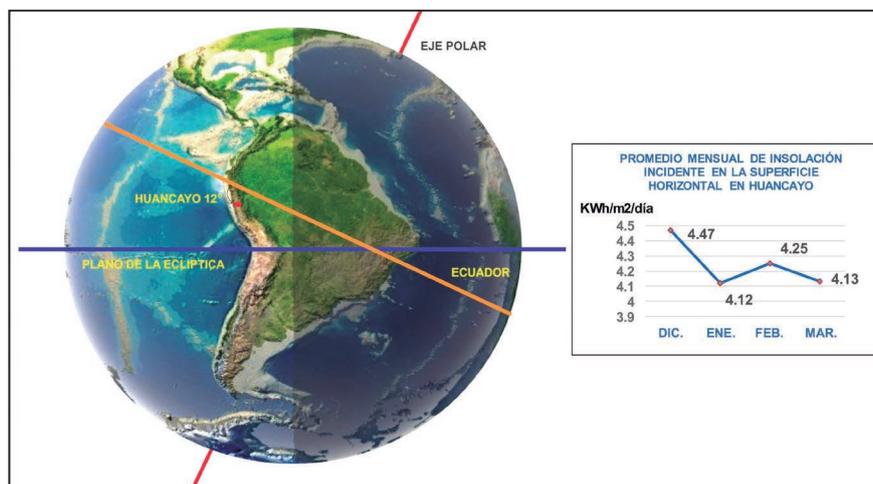


Figura N° 2: Huancayo en el Verano Austral.

su región, fomentan la electricidad limpia, la política ambiental mundial, vehículos híbridos, arquitectura verde entre otras. La energía solar es un recurso de fuente inagotable para este fin, en el valle del Mantaro y en otros lugares del mundo (3).

El uso de la energía solar como fuente de generación de energía pone de manifiesto que estamos ante una tecnología madura que ha experimentado un significativo avance durante los últimos años. Algunos

de qué manera influye la radiación solar usando un sistema de generación eléctrica basado en un motor Stirling, los resultados del estudio y las mediciones nos permitieron conocer y describir las características de la energía solar en la ciudad de Huancayo además de conocer las condiciones para aplicar la energía solar como fuente energética en la región central del Perú (5).

MATERIAL Y MÉTODOS

El ámbito de estudio fue la ciudad de Huancayo, departamento de Junín en el Perú, ubicada cerca de la zona ecuatorial a 12° 4' 34.51" S y 75° 12' 43.412" O y a una altitud aproximada de 3 212 m s.n.m.

Para el desarrollo del presente trabajo se ha empleado datos analizados para la elaboración del "Atlas de

aplicados al método de colectores solares (9, 10); La implementación del motor Stirling necesitó del uso de la metodología del Freno Prony (11), y para el desarrollo del generador eléctrico se recurrió a cálculos y experimentaciones necesarias para la operatividad del sistema que proporcionaría la información resultante.

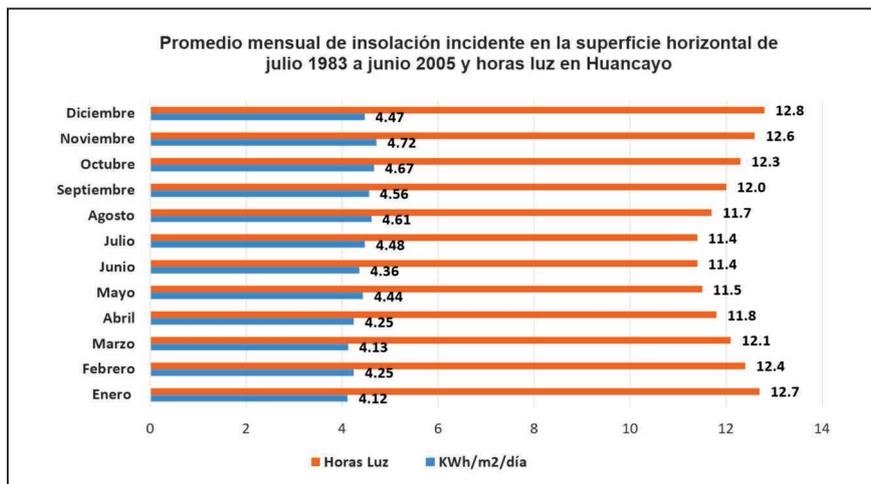


Figura N° 3: Promedio mensual de duración del día e insolución incidente en la superficie horizontal en Huancayo.

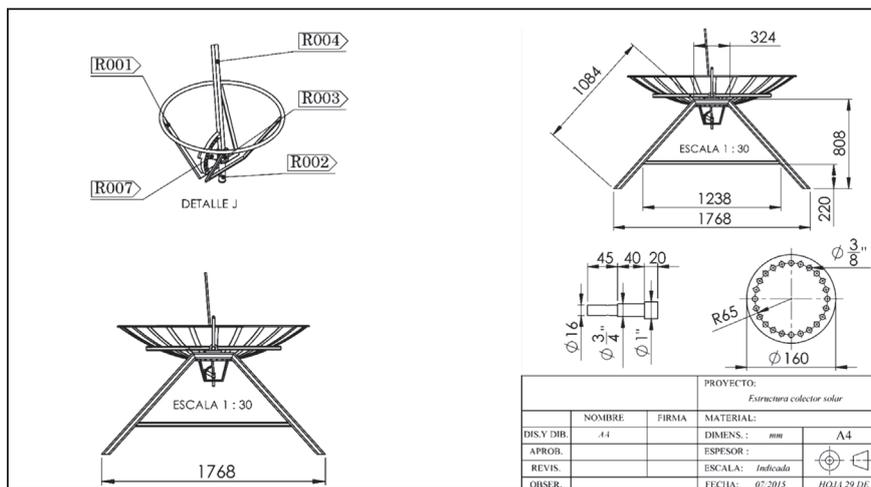


Figura N° 4: Planos del colector solar.

energía solar del Perú" (5), información tomada por satélites que proporcionan una base de datos de considerable tiempo para sus análisis (6, 5, 7).

Los procedimientos empleados fueron: El análisis de la energía solar en Huancayo, construcción del colector solar parabólico teniendo presente metodologías de Frank Kreith de fuerza solar para vehículos espaciales y otros autores (8) y cálculos matemáticos

RESULTADOS

Análisis de radiación solar en la ciudad de Huancayo

Aunque Huancayo no es la zona de mayor potencial de energía solar del territorio peruano, registra alta disponibilidad de radiación solar diaria entre 5,5 a

6,0 Kw/m² (5) durante todo el año, está ubicada en un lugar idóneo (figura 2) para el aprovechamiento de la energía solar ya que es una de las zonas con menor desviación estándar anual, en datos analizados de 1975 al 1990 (5); la sierra central presenta altos valores de energía solar a finales de primavera y

de 12,9 °C mínima y 19,6 °C máxima en promedio evaluando cada mes en el período de 22 años. Estos valores corresponden a la temperatura del aire de 10 m por encima de la superficie de la tierra, evaluados por la media numérica de los valores de cada 3 h para el mes dado (6).

Tabla N° 1: Datos tomados en condiciones de laboratorio.

VAC	VDC	I (A)	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Revoluciones (rpm)
1,47	1,55	0,111	322	34	198,00
1,99	1,81	0,151	327	38	205,30
2,01	1,86	0,164	327	39	216,30
2,56	2,52	0,175	326	44	262,80
3,07	3,26	0,180	328	49	310,20
3,58	3,98	0,232	327	53	357,40
4,07	4,73	0,244	333	58	422,20
4,58	5,58	0,265	343	64	474,70
5,02	6,27	0,276	348	71	513,70
5,59	7,06	0,293	361	79	568,50
6,03	7,44	0,302	359	81	622,70
6,57	8,17	0,315	395	85	667,80
7,04	8,82	0,320	419	87	705,80
7,58	9,66	0,323	447	91	749,50
8,03	10,35	0,335	465	95	788,80
9,90	13,60	0,399	468	122	992,00
10,05	13,79	0,402	479	125	1 073,00

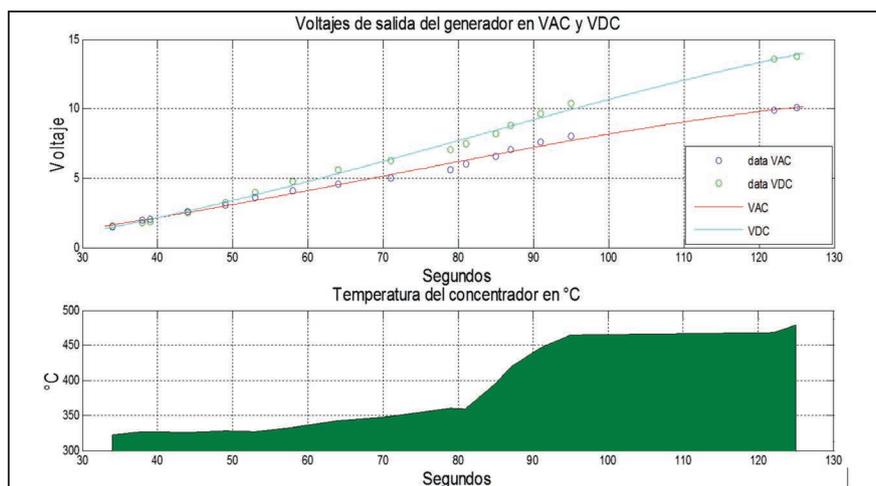


Figura N° 5: Voltajes VAC y VDC versus temperatura.

durante el verano por tener menos influencias de los controladores climáticos (5).

Energía solar y variables climáticas

Huancayo presentó temperaturas promedio anuales

La duración del día en promedio mensual de horas entre el amanecer y el atardecer presenta un mínimo de 11,4 horas en los meses de junio y julio y un máximo de 12,8 h en diciembre (6). El promedio mensual de insolación se puede ubicar de agosto a noviembre con un máximo de 4,72 KWh/m²/día (figura 3)

Temperatura en el punto focal del concentrador solar

Para la razón de diámetro a la longitud focal ($D/f=3$) para el colector diseñado, presenta una eficiencia de concentración en porcentaje de $\eta_c=38\%$ aproximadamente (8). Esto nos permite obtener el valor de la temperatura focal calculado en $347,14^\circ\text{C}$ con un área focal de $0,04\text{ m}^2$, que se aplicará al

revoluciones. Para lograr este objetivo el diseño y el material usado finalmente en el rotor del generador es la mezcla de fibras de carbono y resina poliéster, alcanzando un peso final de 280 g que se pone como carga al eje del motor Stirling (figura 7). El estator que consiste en el entrehierro y las espiras está fijado y calibrado respecto al punto centro del eje a la estructura del motor Stirling (12, 13).

Tabla N° 2: Datos tomados en condiciones de trabajo del sistema Stirling.

VAC	VDC	Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Tiempo (s)
2,560	3,540	234	2
2,600	3,540	246	3
2,970	3,600	259	13
3,290	3,820	265	19
3,330	3,830	265	20
4,240	5,160	259	40
4,280	5,230	260	41
4,560	5,920	260	63
4,580	5,970	246	65
4,580	5,990	253	67
4,570	6,010	246	68
4,560	6,090	273	76
4,580	6,100	274	77
4,560	6,110	272	78

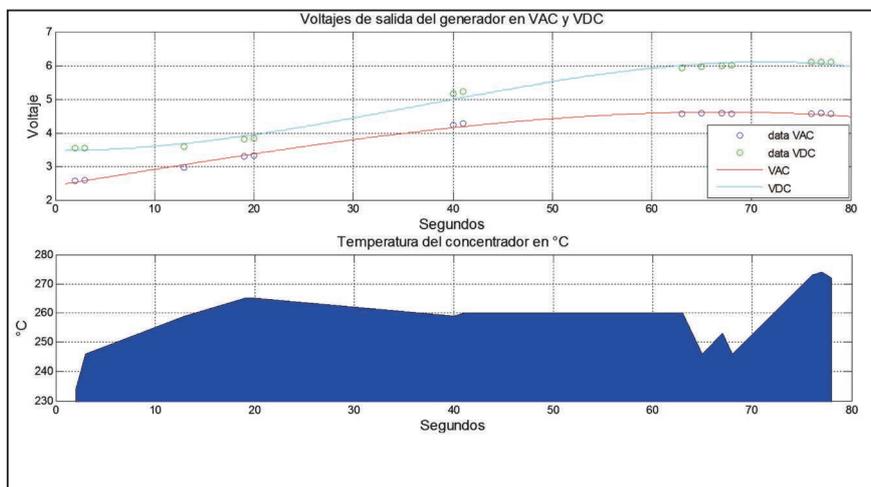


Figura N° 6: Voltajes VAC y VDC versus temperatura producida en el foco.

pistón del motor Stirling.

Consideraciones generales del generador eléctrico AC-DC

Un parámetro fundamental del motor Stirling es su potencia útil de $0,33406\text{ W}$, esto indica que el rotor del generador debe ser liviano para romper la inercia inicial, y mantener la estabilidad al subir las

Medición de datos de salida

Al realizar las pruebas se observan los voltajes obtenidos que a medida que el voltaje de corriente alterna se incrementa (VAC), el voltaje de corriente directa (VDC) se incrementó en función a este con una diferencia de $3,74$ en el valor máximo. La temperatura guarda una relación directamente proporcional con estos voltajes. En estas pruebas logramos tener un

voltaje 13,79 VDC por el generador como máximo (tabla 1), voltaje que podría usarse para cargar una batería estándar de 12 VDC.

En las pruebas realizadas entre agosto y setiembre (figura 6) se logra obtener un voltaje máximo de 4,5 VAC y de 6,11 VDC. Estos valores varían de los controladores climáticos, como fuertes vientos o días de soleados y cielos despejados (tabla 2). Se puede observar el efecto que tiene la variación de la temperatura en los parámetros de salida.

DISCUSIÓN

Al analizar los resultados se puede observar que para generar mayor energía eléctrica en condiciones ambientales del centro del Perú, no solo se requiere de altas temperaturas en el foco de concentración



Figura N° 7: Toma de datos en condiciones de trabajo.

(tabla 1), sino también disponer en el diseño un motor que desarrolle mayor potencia útil, con un sistema de refrigeración continuo diferente a disipadores económicos tipo aletas de aluminio.

En el proceso de construcción no se logró tener un área focal estable, sino una dispersión de aproximadamente 200 mm. Debido a la construcción de la parábola ya sea en el rolado de las planchas de acero inoxidable o a errores en la estructura de la parábola debido al proceso de soldadura y construcción.

Para lograr una mayor eficiencia del generador eléctrico desarrollado el punto focal debe estar lo más cerca posible al vértice de la parábola, resultaría eficaz el diseño que hace ingresar por la parte del vértice el pistón del motor Stirling.

Según Beltran Chacón R. en su estudio, el diseño del

enfriador tiene una gran influencia sobre la potencia y eficiencia del sistema, debido a que su máxima capacidad está limitada por la potencia requerida por el ventilador (14). Encontramos en la práctica que es una realidad lo indispensable de una buena refrigeración del motor Stirling. En los niveles de concentración de energía solar no se puede hacer una comparación idónea con resultados obtenidos en otros trabajos ya que establecen diferentes diseños de colectores, y los resultados dependerán de los procesos de construcción y condiciones climáticas (15).

La aplicación de un sistema Stirling para generar energía eléctrica óptima en Huancayo no solo dependerá de disponer de una menor desviación estándar anual de energía solar durante todo el año (5), será posible con diseños eficientes considerando los factores climáticos adversos de cada estación del año.

Con las características propias de la energía solar analizadas en la ciudad de Huancayo y usando la metodología de este trabajo será útil al calcular sistemas de generación eléctrica de mayor potencial, teniendo en cuenta las características de la energía solar (16, 17).

Algunas conclusiones a las cuales se arribaron son:

La energía solar nos da acceso a la aplicación de fuentes alternativas a energías convencionales, el análisis de la investigación determina a la ciudad de Huancayo como un lugar potencial para la implementación de tecnologías limpias, está ubicada sobre el llamado cinturón solar a 12° de la línea ecuatorial, en esta ubicación se puede seguir la trayectoria aparente del sol durante todo el día. Las bases de datos (6,7) disponibles con información permiten analizar y evaluar las zonas geográficas que pueden ser aptas para el uso de técnicas de la generación eléctrica a base de energía solar.

Los datos históricos y bibliográficos nos presenta a la región central del Perú con niveles constantes de radiación solar durante todo el año como concluye el SENAMHI (5). El análisis de la energía solar bajo las condiciones geográficas de estudio nos indica que es posible la implementación de sistemas de generación eléctrica de mayor capacidad, teniendo en cuenta que la aplicación de un sistema Stirling para generar energía eléctrica adecuada en Huancayo será posible bajo diseños apropiados.

Los datos obtenidos muestran que la generación de energía eléctrica están en función a la potencia útil del sistema, y estos datos de salida son propios a nuestro sistema de baja potencia. Estas características de salida pueden ser mejoradas bajo ciertas condiciones de trabajo del motor Stirling en el generador eléctrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. International Energy Agency. [Internet]. Inglaterra. WEO 2015 Special Report on Energy and Climate Change. [Actualizado 15 Junio; citado 31 julio 2015]. Energy and climate Change. Disponible en: <http://www.worldenergyoutlook.org/>
2. European Commission. Nuestro planeta, nuestro futuro – Juntos luchamos contra el cambio climático. Publicaciones del cambio climático general. Internet]. 2015 [citada octubre del 2015] [29 p.] Disponible en: http://ec.europa.eu/clima/citizens/youth/docs/youth_magazine_es.pdf
3. DW. Made for minds. Alemania: Rosa Muñoz [Actualizado 4 de abril 2012; citado 15 de julio 2015]. Energías renovables en América Latina: ¿una cuestión de incentivos?; [1 pantalla]. Disponible en: <http://www.dw.com/es/energ%C3%ADas-renovables-en-am%C3%A9rica-latina-una-cuesti%C3%B3n-de-incentivos/a-15859232>
4. Ministerio de Energía – Gobierno de Chile. [Internet]. Chile: Centro de energías Renovables - Ministerio de energía. 2011. [Actualizado 2011; citado julio 2015]. Energía solar. Disponible en: http://cifes.gob.cl/tecnologias/files/2011/12/libro_solar.pdf
5. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. Medioambiente. [Internet]. Perú [Actualizado Junio del 2003; citado 10 Agosto 2015]. Atlas de energía solar del Perú. Disponible en: http://www.senamhi.gob.pe/pdf/Atlas%20de_Radiacion_Solar.pdf
6. Atmospheric Science Data Center. [Internet]. USA .NASA [Data actualizado de julio 1983 a junio 2005; citado 28 julio 2015] NASA Surface meteorology and Solar Energy – Available Tables [1pantalla]. Disponible en: https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=106079&lat=-12&submit=Submit&hgt=100&veg=17&sitelev=&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid_id&p=swvdowncook&p=clr_sky&p=daylight&p=T10M&p=srf_alb&step=2&lon=-75
7. Instituto Nacional de investigación espacial. [Internet]. Brasil. División de satélite y sistemas ambientales. Brasil. [Actualizado 31 Julio; citado 31 julio 2015]. Radiación solar y terrestre. Disponible en: <http://satelite.cptec.inpe.br/radiacao/>
8. Frank Kreith. Transmisión de calor por radiación: Primera Edición. Compañía Editorial Continental. México. 1965.
9. Francisco Arancibia Carocca. Diseño de un horno solar en sistema de concentrador solar parabólico tipo scheffler. Valparaíso. Universidad Técnica Federico Santa María -Departamento de Mecánica – Investigación Aplicada I. 2006
10. Luis Alberto Clementi. Física moderna y aplicaciones. Buenos Aires. Editora de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe. 2013
11. Edgar J. Kates, William E. Luck. Motores diesel y de gas de alta compresión. Segunda edición. Barcelona. Editorial Reverté, S.A. 2003
12. Wildi, Theodore. Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. Sexta edición. México. Pearson Educación. 2007.
13. William R. Martini. Stirling Engine Desing Manual. Segunda edición. USA. National Aeronautics and Space Administration – Lewis Research Center Under Grant NSG-3194. 1983. Disponible En: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19830022057.pdf>
14. R. Beltrán-Chacon, N. Velasquez- Limon, D. Saucedo-Carvajal. 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. ISSN 1405-7743. 2012. Vol 13, No 1: 43-53.
15. Durán Medina Pino, Contreras Ernesto, Barbosa Saldaña Juan G., Jimenes Bernal José A., Sánchez Silva Florencio. Diseño de disco colector solar de Pequeña modularidad. En: Memorias del XVII Congreso Internacional Anual de la Somim. México: Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada Instituto Politécnico Nacional SEPI-ESIME-Zac. 2011.
16. Muneer. Solar Radiation and Daylight Models. Napier University, Edinburgh. 2ª ed. Elsevier Ltd. 2004.
17. Zekai Sen. Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques. Atmosphere, Environment, Climate change and Renewable energy. London. Springer _ Verlag. 2008.