

## **MOTOR STIRLING TIPO ALFA PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA SOLAR**

**L. Saravia, R. Echazú, G. Alcorta**  
INENCO – Instituto UNSa. – CONICET  
Universidad Nacional de Salta  
Av. Bolivia 5150 – A4408FVY Salta, República Argentina  
FAX 54 387 4255489 – e-mail: ricardo.echazu@gmail.com

**RESUMEN:** Se presenta el diseño y construcción de un motor Stirling de tipo alfa construido a partir de un cabezal de compresor de dos cilindros en V de 300 cm<sup>3</sup> al que se agregaron el absorbedor solar, un intercambiador de calor para enfriamiento y un regenerador de calor. La fuente de calor del sistema es un concentrador solar de tipo Fresnel. Se muestran detalles constructivos, la instrumentación del banco de pruebas y los primeros ensayos.

**Palabras clave:** energía solar, motor Stirling, generación eléctrica solar, concentrador

### **INTRODUCCIÓN**

Un motor de “combustión externa” o Stirling funciona mediante un ciclo termodinámico cerrado, con un fluido del que se extrae trabajo mediante cuatro etapas sucesivas: ingreso de calor al ciclo desde la fuente caliente, expansión con aporte de calor de la fuente de calor, transferencia del calor a un regenerador o acumulador de energía y compresión con extracción de calor hacia la fuente fría. Álvarez Flórez et. al., (2002) Martini, (2004)

Para la conversión de energía solar en mecánica, los motores Stirling cuentan con importantes ventajas:

Al ser de combustión externa pueden recibir, directamente la luz solar concentrada.

Su funcionamiento se basa en el ciclo Stirling, de muy alto rendimiento termodinámico.

Pueden acoplarse a un alternador, de modo que mediante un equipo compacto se obtiene energía eléctrica.

Actualmente en Australia, España y USA, se encuentran en operación sistemas de gran escala para la generación eléctrica solar térmica que utilizan concentradores solares y motores Stirling. Pueden mencionarse el “Sun Catcher” de Stirling Energy Systems, [www.stirlingenergy.com](http://www.stirlingenergy.com), (2009), Stirling – General Electric (2007), [www.sdge.com/sunrisepowerlink/](http://www.sdge.com/sunrisepowerlink/) y los de la Plataforma Solar de Almería, [www.psa.es](http://www.psa.es), (2009)

En Argentina, se han iniciado estudios para desarrollar equipos de mediana potencia. En el ámbito de ASADES, Scollo y Valdez (2008) han diseñado una planilla de cálculo para el dimensionamiento práctico de motores Stirling por escalado y los autores del presente trabajo han presentado un método de cálculo térmico y mecánico de motores Stirling basado en simulsoy y lo han aplicado al diseño de un motor tipo gama. Saravia et. al. (2007, 2008)

Por otra parte El INENCO ha perfeccionado el diseño y los métodos constructivos de concentradores Fresnel, especialmente para el uso en cocinas comunales, los que resultan también muy adecuados como fuente caliente para motores Stirling. Saravia et. al. (2001)

Asimismo se han estudiado dispositivos de seguimiento y sincrónicos para el movimiento de concentradores solares, principalmente cocinas y concentradores Fresnel planos. Hoyos et. al., (2008)

Con estos antecedentes, se ha resuelto construir y ensayar un motor Stirling de tipo alfa. La experiencia al presente, se describe en este trabajo.

### **EL STIRLING TIPO ALFA**

Básicamente, un motor Stirling tipo alfa tiene un cilindro caliente y otro frío, conectados a través de un regenerador. Los pistones de estos cilindros, transmiten el movimiento por medio de bielas a un cigüeñal, con un desfase de 90 grados, de modo que el gas se desplaza de un cilindro al otro enfriándose y calentándose alternativamente.

Para la construcción del motor que aquí se describe, se emplearon partes de un compresor de dos cilindros en V a los que se conectaron como módulos separables el absorbedor, el regenerador y el enfriador. En la figura 1 se muestra una vista lateral del equipo con su concentrador.

En el primer plano, el volante original del compresor, de 370 mm de diámetro, es a la vez una polea que permite conectar el motor a un generador eléctrico. El sentido de giro, es horario.

Detrás del volante, está el block en forma de prisma pentagonal y sobre éste, inclinados a 45 grados a izquierda y derecha los cilindros, de color azul en la figura.

El cilindro frío, a la izquierda, está conectado al absorbedor, mientras que el caliente, a la derecha, se conecta al enfriador (de color verde en la figura). El otro extremo del enfriador está conectado al regenerador (amarillo) y la salida de este al otro extremo del absorbedor.

Los tubos del absorbedor se representaron de color rojo.

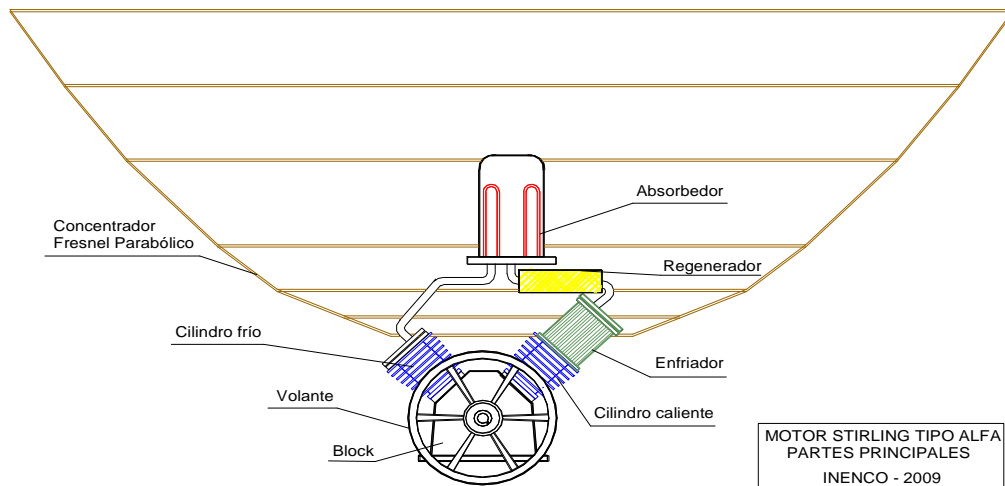


Figura 1: Motor Stirling alfa con concentrador.

El motor se construyó a partir de un cabezal de compresor de dos cilindros en V marca Campbell modelo DP210100AV. Se emplearon de éste, el block, volante, cilindros, bielas, pistones y aros. En la figura 2 se muestra el cabezal desarmado y en la 3 se indican las dimensiones aproximadas de las partes empleadas. Se construyeron las restantes piezas del motor: tapas de cilindros, absorbedor, enfriador, regenerador y conexiones, como así también los elementos del montaje ecuatorial, el mecanismo de seguimiento y se montó el banco de pruebas para los ensayos.



Figura 2: Cabezal de compresor

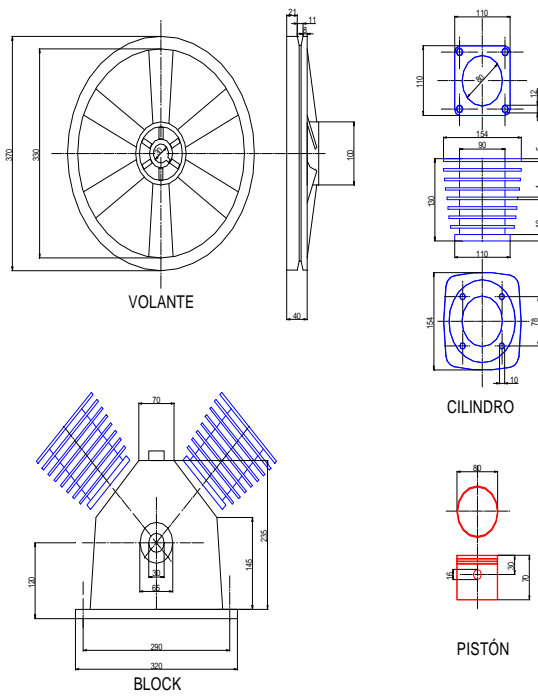


Figura 3: Cabezal de compresor de dos cilindros en V.

### EL ABSORBEDOR

El absorbedor es un colector que recibe radiación solar concentrada, y la transforma en calor sensible que calienta el aire contenido en su interior. Se construyó con tubos de cobre de 6 mm de diámetro, soldados con plata a una carcasa de acero. Cada tubo de 450 mm de largo está curvado en forma de U con los extremos soldados en la placa como se indica en la figura 4.

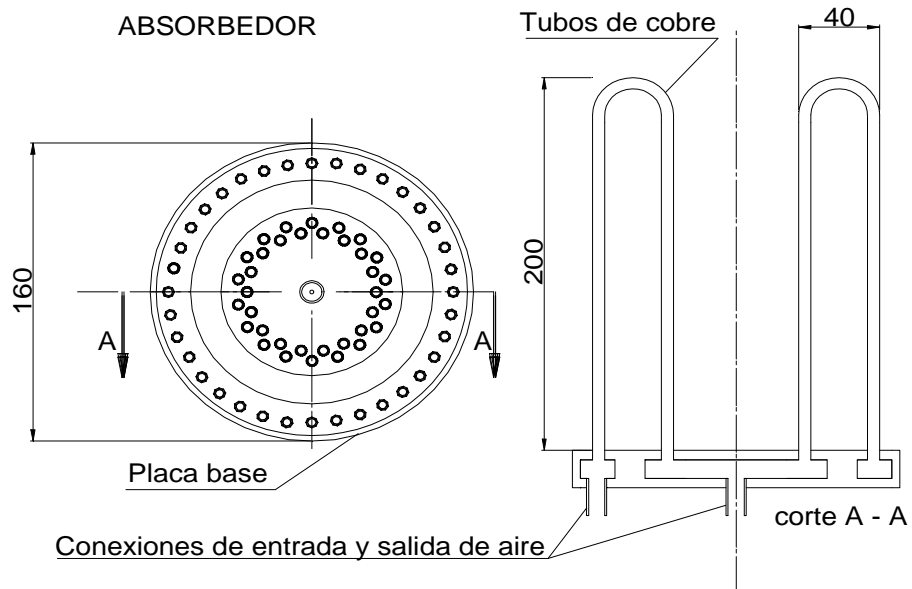


Figura 4: Placa base y corte transversal del absorbedor.

Con esta disposición la radiación solar reflejada por el concentrador incide sobre la cara externa de los tubos o sobre la interna opuesta.

Al igual que en algunos modelos de cocinas solares, se usa como cubierta transparente un vaso de precipitados de 5000 ml. Estos vasos de vidrio al borosilicato, resisten alta temperatura y su transmitancia a la radiación solar es superior a 0,85, lo que los hace muy adecuados para este uso.

### LA ETAPA DE ENFRIAMIENTO

Es un intercambiador de calor de tipo banco de tubos por el que circula aire en el interior de los tubos y agua de enfriamiento por la carcasa. Los tubos de cobre y las soldaduras de plata en los extremos son del mismo tipo que los empleados en el absorbedor. Se muestran detalles en la figura 5.

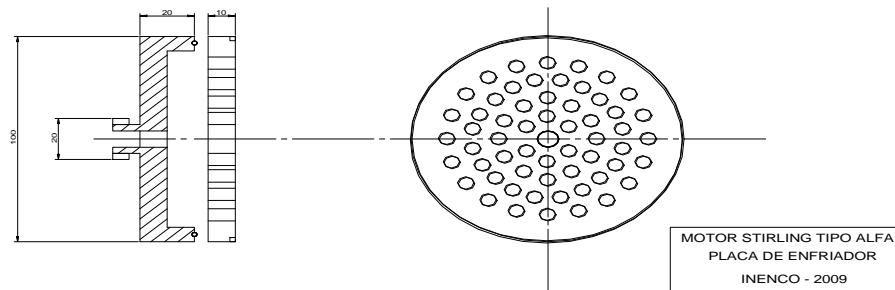


Figura 5: Placa base y corte transversal del enfriador.



Figura 6: Etapa constructiva, cabezal con enfriador y absorbedor

La figura 6 permite apreciar detalles constructivos: a la izquierda el cabezal con el intercambiador de enfriamiento destapado y a la derecha el absorbedor desarmado.

### CONEXIONES

Para todas las conexiones del circuito de gas se emplearon cañerías de acero de 22 mm (7/8") con acoples roscados, del sistema que habitualmente se usa en los sistemas de mando hidráulicos. En la fotografía de la figura 8 se ve un detalle de las conexiones del absorbedor.

### CONCENTRADOR

El concentrador, similar al de los empleados en cocinas comunales Saravia et. al. (2001) es de tipo paraboloide de Fresnel de 6 sectores tiene una abertura de 4,5 m<sup>2</sup>, la distancia focal es de 200 mm.



La poligonal, que por rotación forma la superficie del concentrador, se trazó con Cabri, (Saravia 2001). En la figura 7 se muestra la salida gráfica de éste para dos variantes de concentrador, con 150 y con 200 mm de distancia focal.

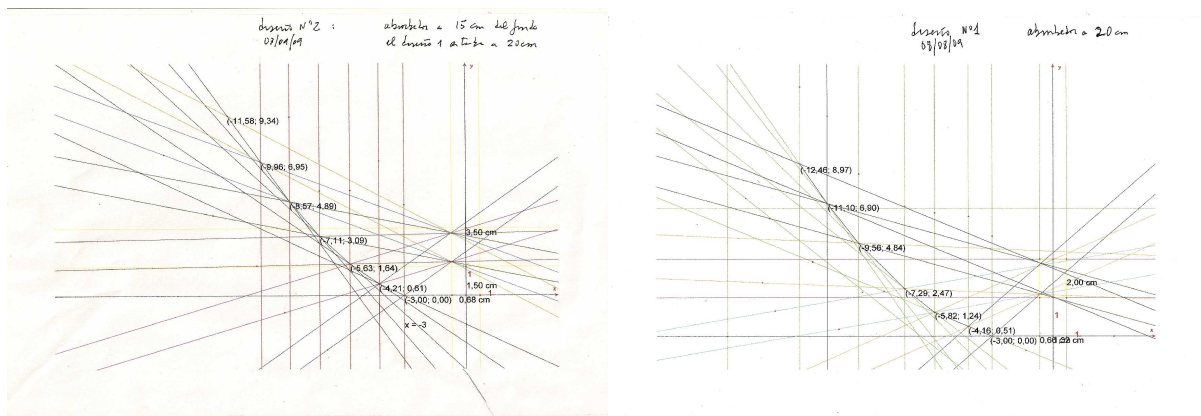


Figura 7: Diseño del concentrador con Cabri.

El bastidor de hierro, fijo a la base del motor, se vincula a la estructura del concentrador por medio de 4 barras roscadas para regular el enfoque.

### MONTAJE ECUATORIAL

El motor y el concentrador se montaron sobre un bastidor de hierro que rota sobre dos ejes perpendiculares para mantener la orientación hacia el sol. El montaje permite acomodar el motor en sus interior a diferentes alturas para encontrar experimentalmente el centro de gravedad del conjunto y ubicarlo en el cruce de los ejes. Se muestra en la figura 8.



Figura 8: Izquierda montaje articulado, derecha el motor stirling.

### SISTEMA DE POSICIONAMIENTO SOLAR

El sistema de posicionamiento, funciona por sincronismo, de modo intermitente impulsado por un motor paso a paso conectado a una caja reductora y controlado por el reloj de una computadora. Este subsistema es similar al desarrollado en el INENCO para el movimiento de los espejos de un sistema de concentradores Fresnel planos, Hoyos et. al. (2008)

### BANCO DE PRUEBAS

Para el ensayo del motor, se conectó un alternador de automóvil de 12 V 60 A, por medio de una correa multi-V. El alternador se encuentra por debajo del block por razones de espacio. Con la misma correa se conectó un motor monofásico de 200 V

200 W que se emplea como motor de arranque. El acople y desacople de éste último se hace con una palanca que acciona sobre un montaje excéntrico que separa la polea del motor de la correa.

Para los ensayos se conecta el alternador a un circuito con una batería plomo-ácido de 12 V y un regulador de tensión convencionales ( de automóvil de tipo “universal” Se mide la tensión y la corriente del campo del alternador para obtener el producto  $V \times I$ .

Se miden las temperaturas del absorbedor, de entrada y salida del agua de enfriamiento, del ambiente y del aire en el regenerador, con termocuplas de Cr Cr-Ni conectadas a un equipo automático de toma de datos de Data Translation DT 9805.

La radiación solar sobre el plano dele concentrador se mide con un pirheliómetro Kipp Zonnen CM3 conectado al mismo equipo de toma de datos.

La presión del sistema se mide con un transductor conectado al data logger.

## CONCLUSIONES

Se ha construido un motor stirling de tipo alfa a partir de un cabezal de compresor y de elementos diseñados y fabricados al efecto. Se ha diseñado y construido el concentrador, el sistema de seguimiento solar y se ha montado un banco de pruebas. Al presente el equipo se encuentra listo para ser ensayado

## REFERENCIAS

- Álvarez Flórez J. A. , Callejón Agramunt I. editores, (2002) “ Máquinas Térmicas Motoras” Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Politex 134, Barcelona.
- Hoyos D., Gea M., Cadena C. Echazú R. (2008) “ Diseño y Construcción de Seguidores Solares. Análisis y Comparación”, AVERMA, Vol. 12, pp. 08.71
- Cabri II Plus PC, version 1.2.5. Copyright Cabrilog, 2002, 2003.
- Echazú R., Cadena C. y Saravia L. ( 2000) " Estudio de Materiales Reflectivos para Concentradores Solares ", AVERMA, Vol 4, p.p. 08.11
- Martini, W. R. (2004), Stirling Engine Design Manual, University Press of the Pacific.
- Plataforma Solar de Almería (2009) [www.psa.es/webesp/instalaciones/discos.html](http://www.psa.es/webesp/instalaciones/discos.html)
- Sandia Laboratories (2008) [www.sandia.gov/news/resources/releases/2008/solargrid.html](http://www.sandia.gov/news/resources/releases/2008/solargrid.html)
- Saravia L., Alía de Saravia D., Echazú R.y Alcorta G. (2007), “La simulación de Sistemas Termomecánicos Solares con el Programa Simusol , el Motor Stirling: Simulación y Construcción”, AVERMA, Vol. 11, p. p. 3-01.
- Saravia L., Alía de Saravia D. y Echazú R. (2008), “La Simulación Numérica de un Motor Stirling”, AVERMA, Vol. 12, p. p. 3-111.
- Saravia L., Cadena C. Et. al. (2001), “El Diseño de Concentradores Solares Tipo Fresnel Destinados a Cocinas Solares” ERMA Vol 6 - ISSN 0328-932X p.p. 57
- Scollo L., Valdez P. (2008) Integración de Procedimientos y Modelos para el Diseño y Simulación de Motores de Combustión Externa de Ciclo Stirling , AVERMA Vol. 12, p. p. 3-79.
- Stirling Energy Systems, (2009), [www.stirlingenergy.com](http://www.stirlingenergy.com)
- Stirling – General Electric (2007), [www.sdge.com/sunrisepowerlink/](http://www.sdge.com/sunrisepowerlink/)
- Sunpower corporation, (2003) Motores Stirling. Año 2003: [www.sunpower.com/engines/index.html](http://www.sunpower.com/engines/index.html)
- Welford W. T. & Winston R. (1989) “High Collection Nonimaging Optics”. Academic Press Inc.

**ABSTRACT:** A alpha Stirling engine was developed and built as part of solar power system. The parts of power generation system are fresnel concentrator dish with sun tracking, stirling engine and electric generator. The engine was built with two cylinders air compressor pump, a solar heat absorber, cooler and regenerador subsystems.

Keywords: Solar Energy, stirling engine, concentrator