

Revista Técnica

Energía

REVISTA # 1

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA



LOJA - ECUADOR
2011



HIMNO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

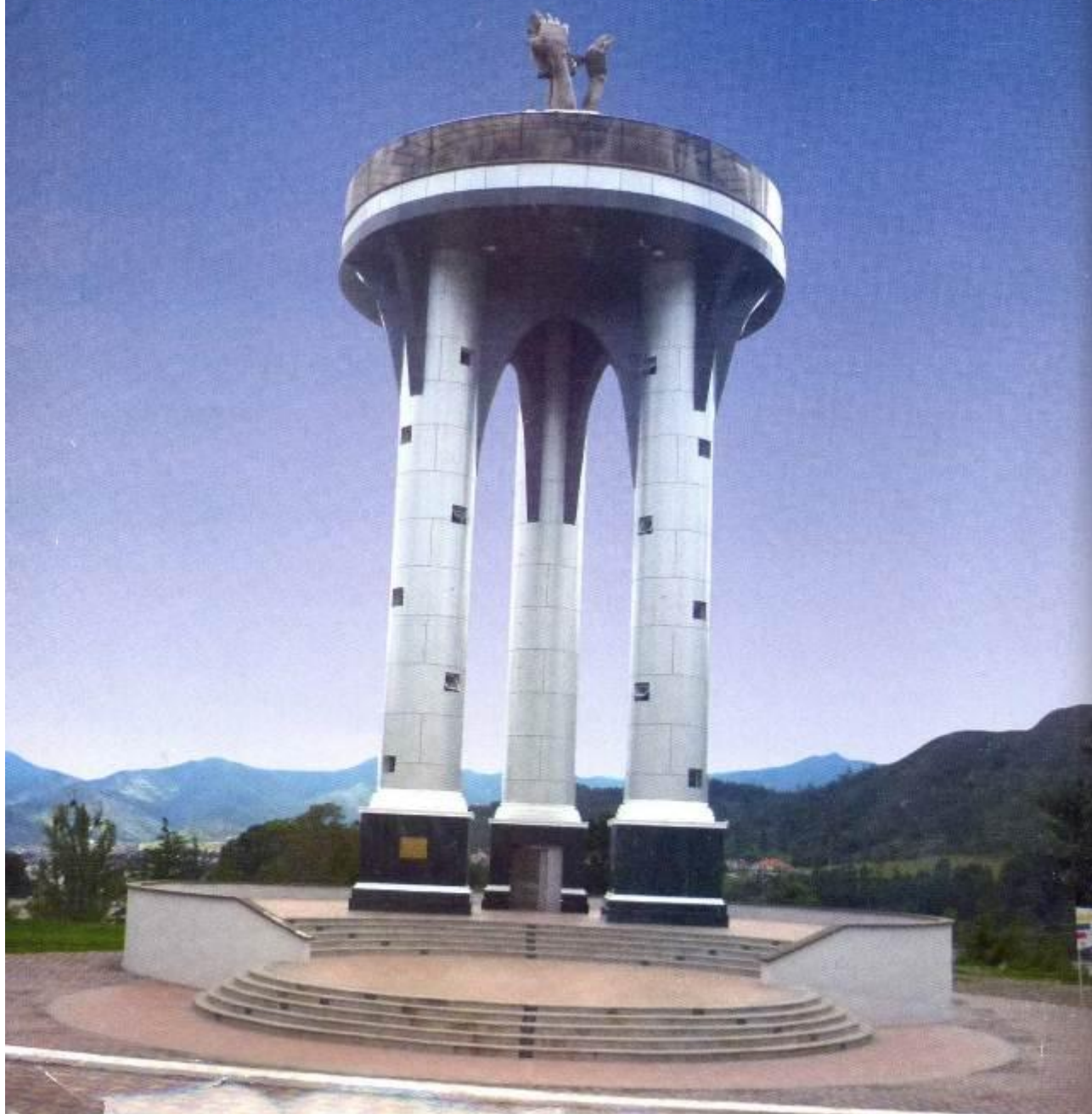
Letra: Dr. Benjamín Ruiz y Gómez
Música: Maestro Segundo Puertas Moreno

CORO

Gloria Loja, por siempre cantemos
Con acento de voz inmortal
Fuimos grandes y hoy más lo seremos
Con el triunfo de nuestro ideal.

I
Al calor de un brillante pasado
Que dio a Loja, blasón de talento,
De hidalguía, de fe y sentimiento,
Nueva vida queremos vivir.

II
La inquietud cultural vigoriza
La conciencia de un pueblo escogido
Que si acaso parece dormido
Hoy despierta a un glorioso existir.



Editorial



La presente publicación se constituye en la primera edición de la revista técnica de la carrera de Ingeniería Electromecánica del Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

Los artículos y evidencias fotográficas que forman parte de esta publicación dan cuenta del trabajo que viene desarrollando nuestra carrera en los tres ejes fundamentales del quehacer universitario: formación de recursos humanos, investigación y vinculación con la colectividad durante el periodo 2008-2011 para el que fui honrosamente designado en la coordinación de la carrera, trabajo desarrollado con el apoyo decidido de la Comisión Académica, Director del Área y del Rector de nuestra Universidad.

Los autores de los artículos técnicos demuestran el esfuerzo de nuestros docentes que nos participan sus experiencias y trabajos de investigación que se vienen ejecutando en la carrera en el ámbito técnico y científico.

De igual forma hacemos conocer los talleres y laboratorios con que cuenta el Área de Energía para la formación de los estudiantes de nuestra carrera: Taller mecánico, taller eléctrico y los laboratorios de automatización, máquinas eléctricas, máquinas de fluidos, laboratorio de electrónica, aula virtual, tres laboratorios de computación y una biblioteca con 50 computadores con servicio de internet; los mismos que se encuentran equipados con tecnología de última generación como fresadoras y tornos con control numérico, controladores programables industriales, equipos de instrumentación y comunicaciones industriales, analizadores de redes, equipos de mediciones y pruebas eléctricas y mecánicas, una estación meteorológica, etc. y trabajos de tesis elaborados por nuestros estudiantes que dan fe de su capacidad para aplicar sus conocimientos científico-tecnológicos.

Así mismo nos sentimos orgullosos con una planta docente de primer nivel en su gran mayoría con estudios de cuarto nivel, maestrías y doctorados donde se conjuga la experiencia con la juventud y se cumple en forma responsable con la hermosa y fecunda tarea de compartir sus conocimientos y de ser el guía y tutor de la formación profesional con excelencia académica contando con el apoyo eficiente del personal administrativo.

Es grato tener en nuestra aulas universitarias a estudiantes que día a día se esfuerzan por formarse en una Universidad para el pueblo, sesquicentaria, orgullo de nuestra patria y acreditada como una de las mejores del Ecuador, que les abrió las puertas para que sean ellos mismos los que forjen su futuro con esfuerzo y dedicación, fruto de lo cual encontramos que nuestros profesionales se encuentran trabajando en todo el país en su campo profesional con gran éxito.

Al presentar esta revista técnica a la comunidad universitaria y ciudadanía en general lo hacemos con el ánimo de difundir nuestro accionar y con el compromiso de mejorar para conseguir la excelencia académica convencidos que siempre nuestra misión será la de contribuir positivamente a la formación profesional con pertinencia, ética, responsabilidad social y alto nivel académico para contribuir al desarrollo de nuestra patria y solucionar los problemas de la sociedad.

Norman Jiménez León
COORDINADOR DE LA CARRERA DE ING. ELECTROMECAICA
PERIODO 2008-2011

Loja, Julio del 2011

GENERACIÓN ELÉCTRICA CON MOTORES STIRLING

Samaniego Ojeda, Carlos
car_samaniego@hotmail.com

Abstract: Los problemas asociados a los combustibles fósiles, tales como la contaminación ambiental y la escasez de los mismos hacen que pensemos en tecnologías más sostenibles para generación eléctrica. Una de ellas, se espera que tenga auge en un futuro próximo: la generación con motores Stirling.

En este ámbito, se presenta el presente proyecto, el cual se divide en dos partes principales. En la primera se muestra una breve explicación sobre el funcionamiento, ciclo teórico, y tipos de motores Stirling, además se ha hecho énfasis en su aplicación con energías renovables. En la segunda parte se presenta su estado del arte, donde se exponen brevemente las características de los modelos desarrollados por los principales fabricantes, concluyendo con varios ejemplos exitosos en aplicaciones reales.

Palabras clave: Motor Stirling, energías renovables, generación eléctrica, ciclo Stirling.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda energética, el cambio climático y el calentamiento global, nos están obligando a incursionar en diversas tecnologías que apunten hacia un suministro más limpio y eficiente de manera que podamos tener desarrollo en armonía con el ambiente. Es así que acuerdos internacionales (como el protocolo de Kyoto) establecen la reducción de emisiones de CO₂, la conservación de los recursos y otras medidas.

El cambiante mercado de los combustibles fósiles, la contaminación ligada a ellos, y el hecho de que algún día se acabarán, son indicativos claros de que es necesario buscar medios alternativos para el suministro energético.

En este contexto, los motores Stirling tienen una importante relevancia gracias a los bajos niveles de ruido, adaptabilidad a diferentes combustibles y su larga vida útil. De manera que podrían ser utilizados ampliamente en un futuro próximo.

La cogeneración con éste tipo de motores es una opción prometedora debido a su alta eficiencia total y bajas emisiones, lo cual es atractivo energética y económicamente.

2. OBJETIVOS

Describir el funcionamiento de los motores Stirling y su aplicación con energías renovables
Determinar el estado del arte de la generación eléctrica con motores Stirling

3. METODOLOGÍA

La obtención de los datos para el presente proyecto se ha basado en una vigilancia tecnológica a través de las páginas web de los principales fabricantes de motores Stirling. Además se ha consultado por el mismo medio y mediante revisión bibliográfica el principio de funcionamiento y el ciclo teórico.

4. DESARROLLO

4.1.- El Motor Stirling

El funcionamiento del motor Stirling radica en la diferencia de temperatura que se genera entre los focos del motor, un foco a baja temperatura y uno a alta. Esta diferencia hace que el gas que se utiliza entre en un ciclo termodinámico, en el cual el

gas se desplaza cíclicamente por convección, de esta manera permite mover los pistones en cada ciclo.

El ciclo teórico de Stirling consta de las 4 etapas: 2 transformaciones isocoras en las que el gas de trabajo pasa a través de un regenerador absorbiendo o cediendo calor, y 2 transformaciones isotermas, en las que el gas está en contacto con una fuente caliente o una fría, a T_c y a T_f , respectivamente. El ciclo se muestra a continuación en un diagrama P-V (Fig. 1).

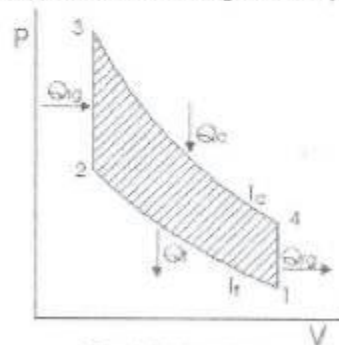


Fig 1. Ciclo teórico

El ciclo se comporta de la siguiente manera:

1-2: Compresión isoterma del gas a la temperatura inferior, T_f . Durante este proceso se cede al exterior una cantidad de calor, Q_c a la fuente fría.

2-3: Absorción de calor a volumen constante. El gas absorbe del regenerador una cantidad de calor Q_m y aumenta su temperatura, lo que provoca un aumento de presión.

3-4: Expansión isoterma del gas a alta temperatura, T_c . Durante este proceso se absorbe una cantidad de calor Q_h de la fuente caliente.

4-1: Cesión de una cantidad de calor Q_m al regenerador a volumen constante, disminuyendo la temperatura del fluido.

4.1.1 Tipos de motores Stirling

La siguiente tabla muestra los tipos de motores Stirling:

Tabla 1. Tipos de motores Stirling

MOTORES	CARACTERÍSTICAS
Tipo alfa	Con dos pistones. Este tipo de motor es un poco distinto pero funciona con el mismo principio termodinámico.
Tipo beta	Con el pistón y el desplazador en el mismo cilindro. El primer motor realizado por Stirling fue de este tipo.
Tipo gamma	Con el pistón y el desplazador en cilindros distintos. Es un tipo derivado del beta, pero más sencillo de construir mecánicamente.

Motores especiales	Suelen ser variaciones de los tres tipos anteriores
Ringborn	En este tipo de motor el desplazador se mueve libremente en función de las variaciones internas de la presión en el motor
Pistón líquido	En este tipo de motor el pistón y el desplazador han sido sustituidos por un líquido
Pistón libre	En este tipo de motor además del desplazador, también el pistón, se mueve sin estar ligado mecánicamente a ningún eje giratorio

4.1.2 Aplicación a generación eléctrica con energías renovables

La versatilidad y adaptabilidad de este tipo de motores a diversos tipos de fuentes de calor hacen que este sistema sea propicio para su aplicación con energías renovables:

- Energía solar

Los sistemas Disco-Stirling son adecuados para la generación descentralizada de energía eléctrica a partir de la energía solar. Su concentrador parabólico sigue al sol continuamente, reflejando los rayos paralelos entrantes sobre su zona focal. El intercambiador de calor solar situado en la zona focal del concentrador absorbe la radiación solar concentrada, calentando el medio caloportador (helio o hidrógeno). Un motor Stirling convierte este calor en energía mecánica, que es a su vez transformada en energía eléctrica por un generador acoplado directamente al eje del motor. La siguiente figura muestra el sistema:

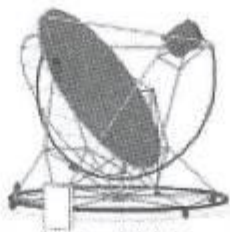


Fig 2. Esquema funcional del sistema Disco Stirling

- Energía de la biomasa

Existen modelos de Stirling que se están desarrollando o han llegado a la fase de demostración para la generación eléctrica a partir de biomasa sólida, por ejemplo en Dinamarca, el Reino Unido, Alemania y Austria (VanLoo et al., 2009). Estos modelos, en fase de desarrollo y demostración, incluyen cámaras de combustión adecuadas para biomasa, o incluso pueden acoplarse directamente a la salida de quemadores de biomasa ya existentes, se encuentran todos ellos en el rango aproximado de 3 a 150 kWe, y presentan eficiencias eléctricas comprendidas entre el 17% y el 30% sobre el PCI (SD, 2009). En la siguiente figura se observa una caldera doméstica de pellets acoplada a un motor Stirling.

- Energía geotérmica

Se puede aprovechar el calor del interior de la tierra, como ejemplo los volcanes y los géiseres. Se enfrenta el foco caliente del motor Stirling con la fuente de calor geotérmica y luego se deja el foco frío a temperatura ambiente.

Más allá de investigaciones académicas y la implementación de modelos menores, no hay antecedentes de un uso del motor Stirling a mayor escala. Sin embargo, debido al desarrollo prometedor del este tipo de motores, se cree que en breve funcionarán con plantas geotérmicas debido a la baja cantidad de energía necesaria para el bombeo de agua a alta temperatura

del interior de la tierra, comparada con su energía aprovechable.

- Cogeneración

Se define cogeneración como la producción simultánea de calor y electricidad. La gran ventaja de este sistema es el elevado rendimiento total, lo cual reduce considerablemente las emisiones en comparación con sistemas separados de calor o electricidad además de convertirse en una alternativa económicamente viable. Se puede llegar a obtener rendimientos sobre el 90% con cogeneración mientras que con sistemas separados alrededor del 60%.

4.2.- Estado del arte de la generación eléctrica con motores Stirling

Los costes de capital de los motores Stirling son relativamente altos (\$2,000-\$50,000/kWe), y generalmente no son competitivos con otras tecnologías de generación distribuida. Estos motores son fabricados en muy bajas cantidades de lo cual resulta su elevado coste. En el rango de costes más altos están los motores Stirling para aplicaciones muy específicas (ej. aplicaciones espaciales). Actualmente se está trabajando en la reducción de los costes a través de la combinación del diseño y la sustitución de materiales.

Reducir el costo de las tecnologías de motores Stirling ha sido un foco de la investigación en curso debido a una serie de cuestiones relacionadas con materiales específicos para la arquitectura de diseño. Entre ellas se encuentran:

La zona de alta temperatura requiere grandes superficies, y debe ser hecha de materiales exóticos que son particularmente difíciles de mecanizar y soldar.

La sección más fría también requiere grandes superficies para permitir la transferencia de calor.

El conjunto del regenerador necesita matrices de mallado muy fino para la transferencia de calor que deben operar cerca de la zona caliente por lo cual necesitan materiales que lo soporten.

El conjunto la junta del eje que separa el espacio de trabajo de hidrógeno a alta presión del sistema lubricado es costoso de mecanizar debido a la complejidad del empaque y tolerancias muy ajustadas.

4.2.1 Fabricantes

En la actualidad existen alrededor de 25 compañías a nivel mundial que están desarrollando motores Stirling tal como muestra la tabla 2.

Tabla 2. Principales desarrolladores de motores Stirling

Gran Bretaña Cussons Technology	Alemania Bomin Solar Research SOLO Kleinmotoren GmbH D. Viebach Sunmachine Leybold Didactic GMBH Epas GmbH
Canadá FREE BREEZE wood stove fan	Holanda N.V Philips
Japón Suction Gas Co.	Nueva Zelanda WhisperTech
Noruega Sigma	Pakistán National Fan

Suecia
Kockums
United Stirling

Estados Unidos
Sunpower
Stirling Technology Co.
Stirling Technology Inc.
Stirling Biopower (formalmente
STM Power Inc).
Infinia Corporation
HEATWAVE wood stove fan

Dinamarca
Stirling Danmark

Taiwán
Polo Tech

4.2.1 Aplicaciones reales

A continuación se presentan varias instalaciones donde se demuestra el potencial que tienen los motores Stirling para la generación eléctrica.

- Plataforma solar de Almería

La Plataforma Solar de Almería (PSA), perteneciente al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), es el mayor centro de investigación, desarrollo y ensayos de Europa dedicado a las tecnologías solares de concentración. La PSA desarrolla sus actividades integrada como una División de I+D dentro de la estructura del Departamento de Energía del CIEMAT.

Desde el comienzo de las actividades en 1992, tres generaciones de prototipos han sido montadas y operadas rutinariamente en la PSA para su evaluación técnica: DISTAL I, DISTAL II y EuroDISH.

- Proyecto Maricopa

Desde el pasado mes de enero de 2010 se encuentra operativa la planta de Tessera Solar en Maricopa (Arizona), el primer proyecto solar a escala comercial que utiliza la tecnología SunCatcherTM. Esto supone un importante hito de cara a otros grandes proyectos a construir en los próximos meses, como son los de California y Texas, y que darán lugar a una potencia instalada de 1.600MW.

La tecnología SunCatcherTM posee el record de eficiencia en convertir la energía del sol en energía eléctrica conectada a red. Así, combina un disco concentrador de espejos con un motor Stirling de alta eficiencia especialmente diseñado para seguir, recoger y convertir la energía del sol en energía de alta calidad conectada a red. Por otra parte, no usa agua para la generación de energía o para el sistema de refrigeración, y las cantidades mínimas de agua que utiliza se destinan a la limpieza de los espejos del disco. Otro elemento importante es que el fuste o pedestal se hinca en el terreno mediante presión hidráulica creando el mínimo impacto medioambiental y limitando la cantidad de material de desecho.

La planta solar de Maricopa, que cuenta con un total de 60 unidades de SunCatcherTM, proporciona ya 1,5MW de potencia eléctrica renovable, bajo un acuerdo de venta de energía de 10 años de duración con Salt River Project (SRP).

- Plataforma Solúcar

Albergando diferentes tecnologías, la plataforma solar Solúcar de Abengoa en Sanlúcar la Mayor, Sevilla, generará 300 MW de capacidad instalada cuando se complete en el 2013.

Una vez terminada, la instalación producirá 50MW a través de tecnología de torre, 250MW por tecnología cilindro-parabólica, 1,2 MW en energía fotovoltaica y 80MW a través de sistemas disco-Stirling.

En estos momentos hay cinco plantas en operación y suministrando energía a la red en la plataforma. Incluyendo Sevilla PV, Casaquemada, PS10, PS20 y Solnova 1.

5. CONCLUSIONES

Los motores Stirling por su configuración tienen un gran potencial de aprovechamiento de energía proveniente de fuentes renovables, específicamente solar, biomasa y geotérmica; ya que utilizan el calor captándolo en el foco caliente para y mediante la diferencia de temperatura con el foco frío hace que el gas entre en un ciclo termodinámico realizando el movimiento que permite generar electricidad.

Pese a tener ya varias décadas, la tecnología ligada a motores Stirling continúa en desarrollo de su diseño especialmente en la utilización de materiales que ofrezcan buenas propiedades de transferencia de calor acordes con las exigencias de este motor térmico. Debido a sus altos costes de producción, las potencias disponibles aún son relativamente bajas en comparación con otras tecnologías.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] GARD, Karl Oskar; *Biomass based small scale combined heat and power technologies*. Thesis: Master of sciences programme in Mechanical Engineering, 2008, pp. 4.
- [2] MARAVER, Daniel; ROYO, Javier; "Sistemas de generación de energía final", *Energía de la biomasa*, Prensas universitarias de Zaragoza, Vol. 1, 2010, pp. 13-16.
- [3] Explicación del funcionamiento de motores Stirling, y sus tipos:
<http://personales.able.es/jgras/>
- [4] Generalidades e información sobre fabricantes de motores Stirling:
<http://www.stirlingengines.org.uk/manufact/post.html>
- [5] Página web de la comisión de energía de California, información sobre costos y desempeño de motores Stirling:
http://www.energy.ca.gov/distgen/equipment/stirling_engines/cost.html