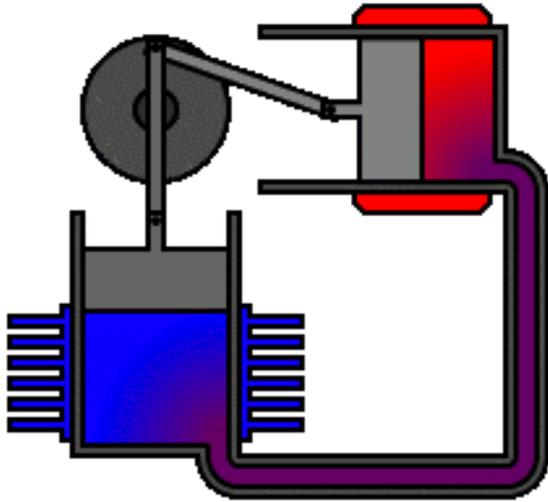
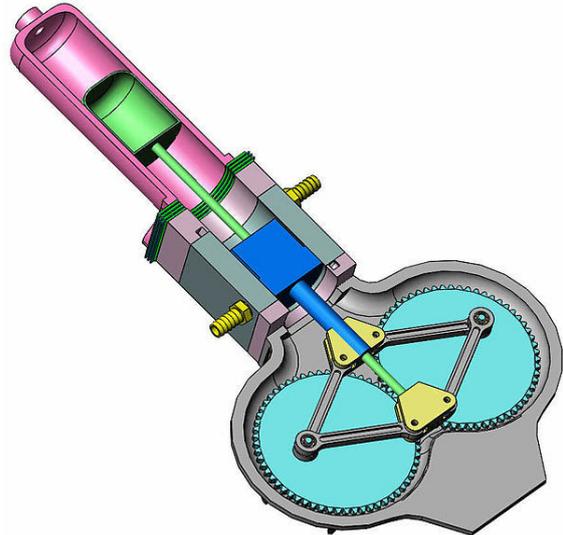


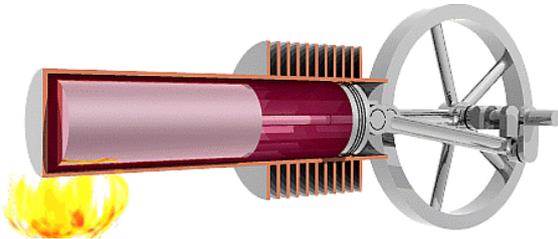
Motor Stirling



Motor tipo alfa Stirling. Tiene dos cilindros, el rojo es mantenido a una alta presión y temperatura, mientras que el azul es el enfriador. El hueco entre los dos cilindros contiene el regenerador.



Diseño de un Motor Stirling tipo Rombic Beta.



Motor tipo beta Stirling. Tiene un único cilindro con dos culatas, una con calor y otra en frío. Un émbolo libre desplaza el aire entre el espacio caliente y frío. Un cilindro de potencia al final del eje mueve el volante.

Un **motor Stirling** es un motor térmico operando por compresión y expansión cíclica de aire u otro gas, el llamado fluido de trabajo, a diferentes niveles de temperatura tales que se produce una conversión neta de energía calorífica a energía mecánica.^{[1][2]} O más específicamente, un motor térmico de ciclo cerrado regenerativo con un fluido gaseoso permanente, donde el ciclo cerrado es definido como un sistema termodinámico en el cual el fluido está permanentemente contenido en el sistema, y regenerativo describe el uso de un tipo específico de intercambio de calor y almacenamiento térmico, conocido como el regenerador. Esta inclusión de un regenerador es lo que diferencia a los motores Stirling de otros motores de ciclo cerrado.

El motor Stirling fue inventado en 1816 por el Reverendo escocés Robert Stirling quien lo concibió como un primer

motor diseñado para rivalizar con el motor de vapor, en la práctica su uso se redujo a aplicaciones domésticas por casi un siglo.^[3] Los motores Stirling tienen una alta eficiencia, si se los compara con los motores de vapor,^[4] y gran facilidad para ser aplicados a cualquier fuente de calor. Estas ventajas están haciendo que vuelva a tener interés este tipo de motores, y su aplicación en sistemas captadores de energías renovables.

1 Descripción del funcionamiento

El motor Stirling es el único capaz de aproximarse (teóricamente lo alcanza) al rendimiento máximo teórico conocido como rendimiento de Carnot, por lo que, en lo que a rendimiento de motores térmicos se refiere, es la mejor opción. Conviene advertir que no serviría como motor de coche, porque aunque su rendimiento es superior, su potencia es inferior (a igualdad de peso) y el rendimiento óptimo sólo se alcanza a velocidades bajas. El ciclo teórico de Carnot es inalcanzable en la práctica, y el ciclo Stirling real tendría un rendimiento intrínsecamente inferior al Ciclo de Carnot, además el rendimiento del ciclo es sensible a la temperatura exterior, por lo que su eficiencia es mayor en climas fríos como el invierno en los países nórdicos, mientras tendría menos interés en climas como los de los países ecuatoriales, conservando siempre la ventaja de los motores de combustión externa de las mínimas emisiones de gases contaminantes, y la posibilidad

de aceptar fuentes de calor sin combustión.

Su ciclo de trabajo se conforma mediante 2 transformaciones isocóricas (calentamiento y enfriamiento a volumen constante) y dos isotermas (compresión y expansión a temperatura constante)

Existe un elemento adicional al motor, llamado regenerador, que, aunque no es indispensable, permite alcanzar mayores rendimientos. El regenerador es un intercambiador de calor interno que tiene la función de absorber y ceder calor en las evoluciones a volumen constante del ciclo. El regenerador consiste en un medio poroso con conductividad térmica despreciable, que contiene un fluido. El regenerador divide al motor en dos zonas: una zona caliente y otra zona fría. El fluido se desplaza de la zona caliente a la fría durante los diversos ciclos de trabajo, atravesando el regenerador.

Puede emplear 1, 2, 3 o más pistones.

2 Rendimiento del ciclo

La definición de rendimiento para una máquina térmica es:

$$\eta = \frac{W_{\text{neto}}}{Q_{\text{absorbido}}}$$

El trabajo neto será el debido a la expansión y compresión isotérmicas, puesto que durante los procesos isocóricos no se realiza trabajo. Para un gas ideal se calcula como

$$W_{\text{neto}} = nRT_C \ln\left(\frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}}\right) + nRT_F \ln\left(\frac{V_{\text{min}}}{V_{\text{max}}}\right)$$

donde V_{min} y V_{max} son los volúmenes mínimo y máximo que se alcanzan, y T_C , T_F las temperaturas de las fuentes caliente y fría respectivamente. Definiendo la relación de compresión como $r = V_{\text{max}}/V_{\text{min}}$ y aplicando propiedades del logaritmo, se reduce a

$$W_{\text{neto}} = nR(T_C - T_F) \ln(r)$$

El gas sólo absorbe calor durante dos etapas: el calentamiento a volumen constante y la expansión isotérmica. Para un gas ideal esto representa

$$Q_{\text{absorbido}} = nC_V(T_C - T_F) + nRT_C \ln(r)$$

En la práctica es común el uso de regeneradores, que permiten almacenar el calor cedido por el gas durante el enfriamiento a volumen constante para luego devolverlo al sistema durante el proceso de calentamiento. Si bien ambas cantidades son iguales en módulo, puesto que se tratan de procesos isocóricos entre las mismas

dos temperaturas, el regenerador no es perfecto y parte de esa energía se pierde. Definiendo su eficiencia como $\eta_R = Q_{\text{devuelto}}/Q_{\text{cedido}}$, se obtiene

$$Q_{\text{absorbido}} = (1 - \eta_R)nC_V(T_C - T_F) + nRT_C \ln(r)$$

Finalmente el rendimiento total de la máquina resulta

$$\eta = \frac{nR(T_C - T_F) \ln(r)}{(1 - \eta_R)nC_V(T_C - T_F) + nRT_C \ln(r)}$$

En la medida que el funcionamiento del regenerador se acerca al caso ideal, el rendimiento del ciclo se aproxima al del ciclo de Carnot

$$\eta \xrightarrow{\eta_R \rightarrow 1} \left(1 - \frac{T_F}{T_C}\right)$$

3 Aplicaciones

En España, en la Plataforma Solar de Almería, se han construido equipos (conocidos como Distal y EuroDISH) formados por grandes discos parabólicos que reflejan y concentran la luz solar hacia un motor Stirling, el cual produce energía mecánica que mediante un alternador es transformada en energía eléctrica. Son modelos experimentales y demostrativos de gran rendimiento.

Esta tecnología se considera que será de gran aplicación para regiones donde hay gran número de pobladores dispersos, a los cuales sería muy costoso llegar con red eléctrica.

Es de esperar que los fabricantes de motores Stirling construyan en gran escala unidades pequeñas de ese mismo tipo, (con disco solar) como por ejemplo con capacidad de producir unos 200 a 400 kWh al mes (equipos de 1 a 2 kW de potencia aproximadamente); especialmente para los países situados entre los trópicos, pues en estas zonas la cantidad de radiación solar es grande a lo largo de todo el año y a su vez es la región donde hay más población dispersa.

4 Referencias

- [1] "Stirling Engines", G. Walker (1980), Clarendon Press, Oxford, page 1: "A Stirling engine is a mechanical device which operates on a *closed* regenerative thermodynamic cycle, with cyclic compression and expansion of the working fluid at different temperature levels."
- [2] W.R. Martini (1983), p.6
- [3] T. Finkelstein; A.J. Organ (2001), Chapters 2&3
- [4] Stirling engines capable of reaching 40% efficiency

5 Enlaces externos

-  Wikimedia Commons alberga contenido multimedia sobre **Motor Stirling**. Commons
- Proyecto Distal y EuroDISH de la Plataforma Solar de Almería
- Información sobre motores Stirling: historia, tipos, funcionamiento, construcción, etc. (en inglés)
- Página en español de J. Gros sobre motores Stirling

6 Origen del texto y las imágenes, colaboradores y licencias

6.1 Texto

- **Motor Stirling** *Fuente:* https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_Stirling?oldid=82689369 *Colaboradores:* Glenn, Tony Rotondas, Togo-eswiki, Dodo, Sms, Tano4595, Murphy era un optimista, Joselarrucea, Dianai, Arkady, Renabot, Digigalos, Airunp, Rembiapo pohyiete (bot), Orgullobot-eswiki, Chobot, Yrbot, Amadís, YurikBot, Gajjin, Eskimbot, José., CEM-bot, Antur, Thijs!bot, RoyFocker, Botones, Isha, Egaida, Jurgens-eswiki, JAnDbot, Muro de Aguas, Rei-bot, Chabbot, AlnoktaBOT, VolkovBot, WarddrBOT, Technopat, Matdrodes, Synthebot, BlackBeast, Muro Bot, SieBot, El carrera, PaintBot, BOTarate, Marcelo, Lightbringer-eswiki, Enen, Gallowolf, Alexbot, Raulshc, Shalbat, AVBOT, Bethan 182, Luckas-bot, NACLE, Jgrosay, DSisyphBot, ArthurBot, Ortisa, Elisabet Roch Isern, Xqbot, TobeBot, Marsal20, PatruBOT, GrouchoBot, Africanus, Grillitus, Elías, Goose friend, Sebreu, MetroBot, Eldivulgador, Rbast, Addbot, Ricardo JMD y Anónimos: 76

6.2 Imágenes

- **Archivo:Alpha_Stirling.gif** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/Alpha_Stirling.gif *Licencia:* CC-BY-SA-3.0 *Colaboradores:* Transferido desde en.wikipedia a Commons por Blast usando File Upload Bot (Magnus Manske). *Artista original:* Richard Wheeler (Zephyris)
- **Archivo:BetaStirlingTG4web.jpg** *Fuente:* <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/BetaStirlingTG4web.jpg> *Licencia:* CC-BY-SA-3.0 *Colaboradores:* Trabajo propio *Artista original:* made by Togo
- **Archivo:Beta_stirling_animation.gif** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Beta_stirling_animation.gif *Licencia:* CC BY 2.5 *Colaboradores:* Trabajo propio *Artista original:* Van helsing
- **Archivo:Commons-emblem-question_book_orange.svg** *Fuente:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1f/Commons-emblem-question_book_orange.svg *Licencia:* CC BY-SA 3.0 *Colaboradores:* ` + ` *Artista original:* GNOME icon artists, Jorge 2701
- **Archivo:Commons-logo.svg** *Fuente:* <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Commons-logo.svg> *Licencia:* Public domain *Colaboradores:* This version created by Pumbaa, using a proper partial circle and SVG geometry features. (Former versions used to be slightly warped.) *Artista original:* SVG version was created by User:Grunt and cleaned up by 3247, based on the earlier PNG version, created by Reidab.

6.3 Licencia del contenido

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0