

Capítulo 1.
El Disco Stirling EuroDish
de la Escuela Superior
de Ingenieros de Sevilla

Índice

1. Introducción	4
2. Los sistemas termosolares de concentración.....	4
1.1. Sistemas colectores cilindro parabólicos.....	8
1.2. Sistemas de receptor central	9
1.3. Sistemas de disco parabólico.....	10
1.3.1. Concentrador	11
1.3.2. Receptor	12
1.3.3. Sistema de generación.....	14
1.3.4. Estructura soporte y mecanismos.....	15
3. El motor Stirling.....	15
4. El disco solar Stirling EuroDish.....	20
5. Referencias:.....	24

Índice de figuras

Figura 1. Cono de direcciones procedentes del disco solar y reflejados en el sistema concentrador	5
Figura 2. Esquema de modelo simplificado de sistema termosolar.....	6
Figura 3. Rendimiento energético de un sistema termosolar en función de la temperatura de operación, tomando como parámetro la razón de concentración	7
Figura 4. Esquema general de una central energética termosolar	8
Figura 5. Principio de funcionamiento de un colector cilindro parabólico	9
Figura 6. Principio de funcionamiento de un sistema de receptor central.....	10
Figura 7. Esquema de un disco parabólico.....	10
Figura 8. Tipos de discos parabólicos.....	11
Figura 9. Receptor de tubos directamente iluminados para disco parabólico	12
Figura 10. Receptor de reflujos tipo “heat pipe” para disco parabólico.....	13
Figura 11. Receptor volumétrico presurizado VOBREC 4 para disco parabólico	14
Figura 12. Esquema de turbina de gas de disco parabólico con hibridación y recuperación	15
Figura 13. Motor Stirling tipo alpha	16
Figura 14. Motor Stirling tipo beta	16
Figura 15. Motor Stirling tipo gamma	17
Figura 16. Diagramas P-V y T-S del ciclo Stirling.....	17
Figura 17. Compresión isotérmica del ciclo Stirling	18
Figura 18. Absorción de calor isocora del ciclo Stirling.....	18
Figura 19. Expansión isotérmica del ciclo Stirling.....	18
Figura 20. Cesión de calor isocora del ciclo Stirling	19
Figura 21. Comparación entre los ciclos Stirling real y teórico	19
Figura 22. Sistema de disco solar Stirling EuroDish	21
Figura 23. Receptor de sistema EuroDish.....	22
Figura 24. Esquema del motor SOLO 161 con el receptor solar	22

1. Introducción

Este capítulo pretende ser sólo informativo. No se realiza ningún cálculo relativo al objetivo de este proyecto ni se aporta nueva información sobre el sistema de disco Stirling EuroDish. Tan solo se pretende informar al lector sobre las características y el funcionamiento del disco Stirling EuroDish para la mejor comprensión del resto del proyecto.

Este capítulo se ha creado a partir de los documentos [GONZÁLEZ OSTOS], [ORDÓÑEZ BARREIRO, 2006] y [SILVA, curso 2004/2005]. Muchas partes de este capítulo se han tomado directamente de estos documentos.

2. Los sistemas termosolares de concentración

Son sistemas que transforman la componente directa de la radiación solar en otra forma de energía para su utilización o almacenamiento, mediante la concentración de dicha componente solar.

Entre las distintas tecnologías usadas en este tipo de sistema destacan los colectores cilindro parabólicos, los sistemas de receptor central (o de torre) y los discos parabólicos.

Los colectores cilindro parabólicos concentran la radiación en un eje (concentración bidimensional), mientras que los sistemas de torre y los discos parabólicos concentran en un punto (concentración tridimensional), alcanzando mayores relaciones de concentración.

Los sistemas termosolares de concentración se caracterizan por el uso de dispositivos que redireccionan la radiación solar incidente sobre una superficie determinada (superficie de captación, A_c) y la concentran sobre una superficie de menor tamaño (superficie absorbadora, A_{abs}). El cociente de las áreas de estas dos superficies se denomina razón de concentración geométrica C_g .

La máxima razón de concentración que se puede obtener depende de la distribución angular de la radiación. En el caso de un haz de rayos perfectamente paralelos teóricamente no existiría límite de concentración, ya que si se usara un paraboloide de revolución con su eje óptico paralelo a la dirección del haz todos los rayos pasarían por el punto focal al reflejarse. El área del receptor se podría hacer tan pequeña como se quisiera. El otro caso extremo sería la radiación isótropa. Actualmente se está desarrollando tecnología que concentra este tipo de radiación.

La radiación solar es un caso intermedio, ya que el Sol no es una fuente luminosa puntual. Desde la Tierra, el Sol se ve como un disco que ocupa en el cielo un semiángulo de apertura angular $\theta_S = 4,653 \cdot 10^{-3} \text{ rad} = 16'$. Debido a esto, la radiación solar directa sobre la Tierra no está formada por rayos paralelos entre sí, sino que se distribuyen sobre un cono de direcciones de semiángulo θ_S alrededor de la línea

que une el punto de observación con el centro del disco solar. El receptor tendrá un tamaño mínimo para que todos los rayos concentrados puedan incidir sobre él.

El valor límite para la razón de concentración tridimensional de la radiación solar es por tanto:

$$C_{m\acute{a}x,3D} = \frac{1}{\text{sen}^2(\theta_S)} = 46189$$

El valor límite de la razón de concentración bidimensional de la radiación solar sería:

$$C_{m\acute{a}x,2D} = \frac{1}{\text{sen}(\theta_S)} = 215$$

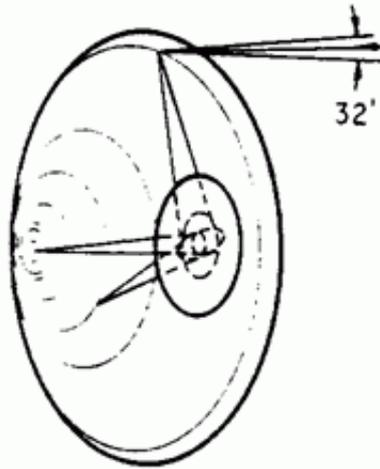


Figura 1. Cono de direcciones procedentes del disco solar y reflejados en el sistema concentrador

Entre los diversos campos de aplicación de los sistemas termosolares de concentración, en los que se ha alcanzado mayor grado de desarrollo han sido los de generación de electricidad, vapor de proceso o ambos simultáneamente. Los sistemas termosolares de concentración permiten un aprovechamiento más eficiente de la energía solar que los sistemas no concentradores. Considérese el esquema de sistema termosolar de la figura 2. El receptor transforma la energía radiante en energía térmica. Un ciclo de potencia transforma la energía térmica en trabajo mecánico.

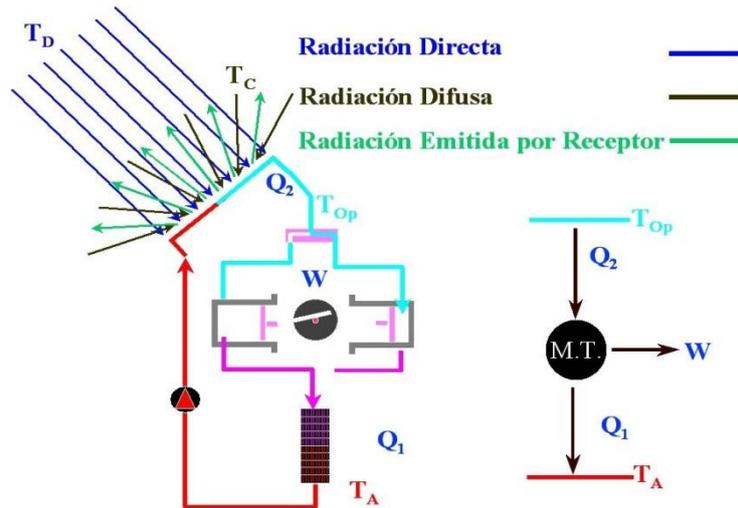


Figura 2. Esquema de modelo simplificado de sistema termosolar

El Segundo Principio de la Termodinámica indica que el rendimiento de la máquina térmica será tanto mayor cuanto más alta sea la temperatura de operación T_{op} , que a su vez está relacionada con la temperatura del receptor o temperatura de captación. Sin embargo, las pérdidas por radiación en el receptor son proporcionales a la cuarta diferencia de temperatura entre éste y sus alrededores, por lo que su rendimiento disminuirá con ésta. Además, las pérdidas son proporcionales al área de la superficie absorbidora, que puede reducirse si se aumenta la relación de concentración.

Para una misma temperatura de operación, el rendimiento será mayor cuanto mayor sea la razón de concentración. El rendimiento del sistema en su conjunto será igual al producto de los rendimientos de la máquina térmica y el receptor, por lo que, dada una máquina térmica, para cada razón de concentración existirá una temperatura óptima de operación. A medida que aumenta la razón de concentración, mayor es la temperatura óptima de operación.

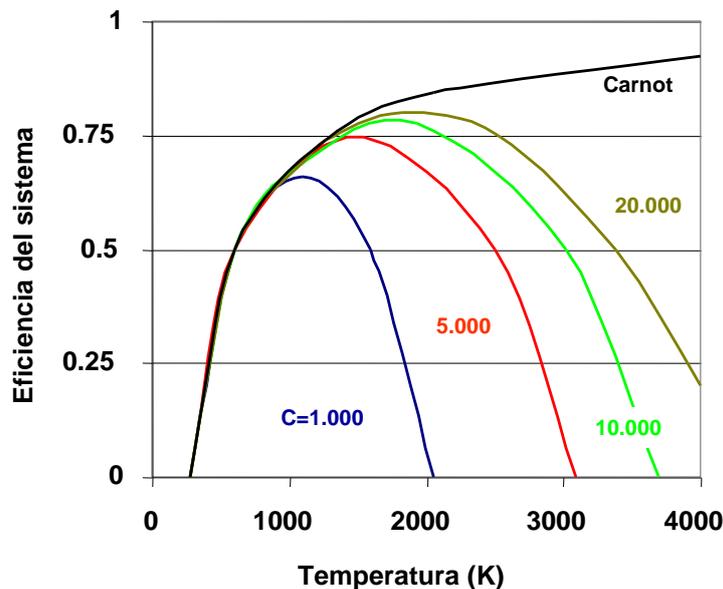


Figura 3. Rendimiento energético de un sistema termosolar en función de la temperatura de operación, tomando como parámetro la razón de concentración

Las aplicaciones de los sistemas termosolares de concentración se pueden englobar en tres grandes grupos

- Aplicaciones energéticas, como la generación de electricidad, la producción de calor para procesos industriales o la combinación de ambas, dando lugar a los sistemas de cogeneración.
- Aplicaciones de química solar, orientadas a la solarización de reacciones químicas endotérmicas que permitan la conversión de la energía radiante en energía química (almacenamiento químico). Entre estas reacciones pueden citarse el reformado solar del gas natural o la obtención de hidrógeno solar mediante procesos de electrolisis a alta temperatura, disociación térmica de vapor y otros procesos termoquímicos.
- Otras aplicaciones, como la desalación de agua, la detoxificación de efluentes industriales o agrícolas, el tratamiento o la síntesis de materiales, etc.

Los sistemas termosolares de concentración solar que se aplican a la generación de electricidad se denominan centrales energéticas termosolares. Las centrales energéticas termosolares se componen básicamente de:

- Sistema colector
- Sistema receptor
- Sistema de conversión de potencia

Además pueden incluir un sistema de almacenamiento térmico y un sistema de combustible fósil.

El sistema colector capta y concentra la radiación solar sobre el receptor, donde la energía radiante se convierte en energía térmica (normalmente en forma de aumento de entalpía de un fluido) que, finalmente, se convierte en otra forma de energía apta para su utilización en el sistema de conversión de potencia. Las centrales que disponen de sistema de almacenamiento térmico pueden operar en periodos de ausencia de radiación solar. Los sistemas colector y receptor los específicos de las centrales energéticas termosolares, constituyendo lo que frecuentemente se denomina campo solar. Los sistemas de conversión de potencia y almacenamiento pueden considerarse convencionales.

Mediante un sistema de combustible fósil se puede complementar el aporte energético de la radiación solar en una central energética termosolar. Las centrales energéticas termosolares que incluyen un sistema de combustible fósil se conocen como híbridas. El grado de hibridación puede ser muy variable. En unas centrales el sistema de combustible fósil reduce al mínimo o elimina el almacenamiento térmico y su función principal es absorber los transitorios producidos por variaciones más o menos bruscas de la radiación solar, garantizando la producción de acuerdo con la estrategia de operación establecida. En otras centrales, como en los ciclos combinados

convencionales, la energía solar es tan solo un apoyo, siendo el aporte de entre el 10% y el 20%.

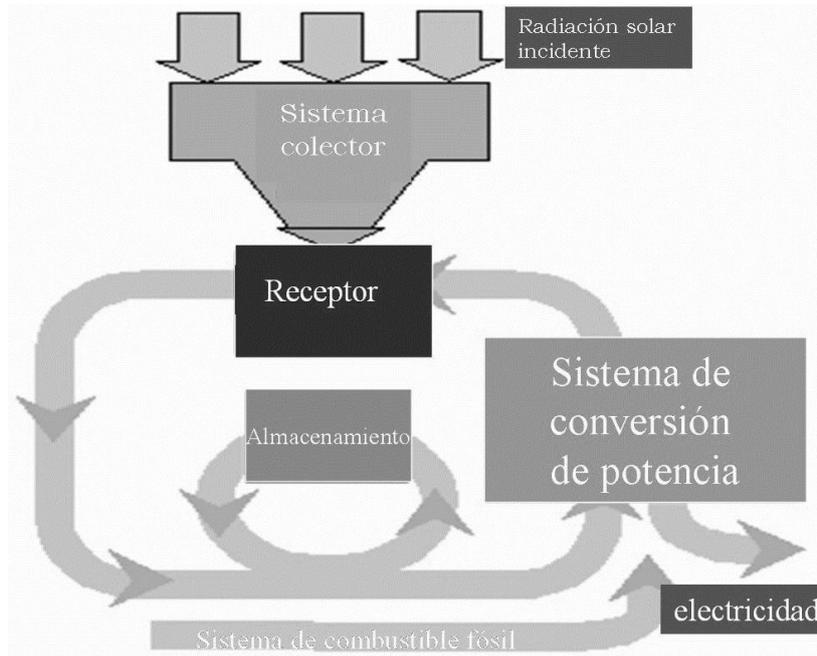


Figura 4. Esquema general de una central energética termosolar

Las principales opciones de CETES son los sistemas de colectores cilindro parabólicos, los sistemas de receptor central y los discos parabólicos. El grado de desarrollo de las distintas opciones de centrales energéticas termosolares es diverso. Los sistemas de colectores cilindro-parabólicos se encuentran en una etapa cercana a la madurez. Sin embargo, los sistemas de receptor central y de disco parabólico aun se encuentran en etapas iniciales.

Las tres tecnologías son adecuadas para la implementación tanto de sistemas sólo solares como de sistemas híbridos. Esta capacidad de integración proporciona un camino viable de transición desde las plantas actuales que sólo emplean combustibles fósiles hasta plantas futuras cuya única fuente energética sea la radiación solar.

1.1. Sistemas colectores cilindro parabólicos

El colector cilindro parabólico está compuesto básicamente por un espejo cilindro parabólico que refleja la radiación directa concentrada sobre un tubo receptor colocado en la línea focal de la parábola. Por el interior del tubo receptor circula el fluido de trabajo calentándose.

La superficie especular se consigue a base de películas de plata o aluminio depositadas sobre un soporte que le da la suficiente rigidez. En la actualidad se utilizan diferentes medios soportes para la película reflectante, como chapa metálica, vidrio o plástico.

Estos sistemas funcionan eficientemente hasta temperaturas de 450 °C. La forma más común de producción de electricidad es calentando aceite térmico en los colectores

cilindro parabólico, el cual produce vapor mediante un intercambiador que alimenta una turbina. Otra forma es la generación de vapor directa en los colectores cilindro parabólicos.

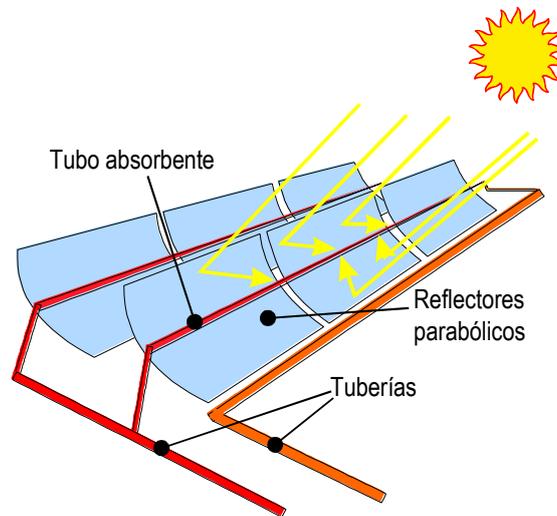


Figura 5. Principio de funcionamiento de un colector cilindro parabólico

1.2. Sistemas de receptor central

Este tipo de sistemas se caracterizan porque el sistema colector está compuesto por un grupo, más o menos numeroso, de concentradores individuales llamados heliostatos, que dirigen la radiación solar concentrada hacia un receptor central, normalmente situado a una cierta altura sobre el suelo en una torre.

Los sistemas de receptor central son, por tanto, sistemas termosolares de concentración que concentran la radiación solar en tres dimensiones, por lo que pueden alcanzar un valor elevado de la razón de concentración y, debido a esto, operar eficientemente hasta elevadas temperaturas (por encima de 1000 °C).

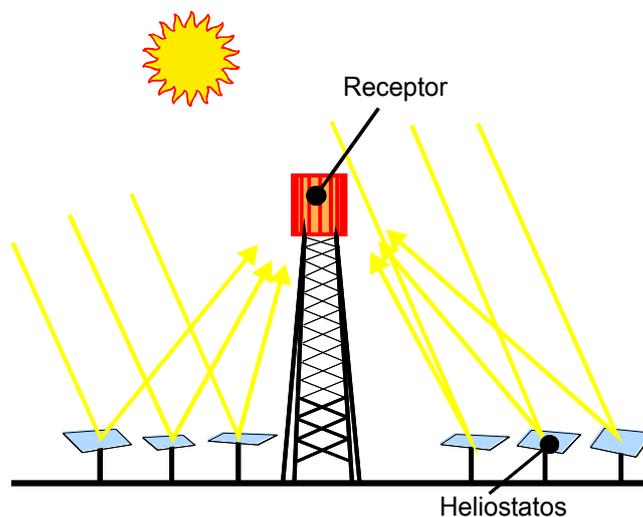


Figura 6. Principio de funcionamiento de un sistema de receptor central

El uso más frecuente de los sistemas de receptor central es la generación de vapor para producir electricidad con un ciclo Rankine. En el receptor se calientan sales fundidas o aire que posteriormente ceden calor al agua para transformarla en vapor mediante un intercambiador de calor. También se puede evaporar el agua directamente en el receptor.

Otro uso que se le da a los sistemas de receptor central es para generar energía en un ciclo Brayton. En el receptor se calienta el aire presurizado que sale del compresor y entra en la cámara de combustión, donde se regula la temperatura del aire para que esté en condiciones óptimas para entrar en la turbina de gas.

1.3. Sistemas de disco parabólico

Los componentes básicos de un sistema de disco parabólico son:

- Concentrador, en forma de paraboloides de revolución que refleja y concentra la luz solar.
- Receptor, situado en el foco del paraboloides.
- Sistema de generación.
- Estructura soporte y mecanismos.

El concentrador refleja y concentra la radiación directa solar haciendo que incida sobre el receptor. El sistema de generación transforma la energía en forma de calor del receptor en energía mecánica.

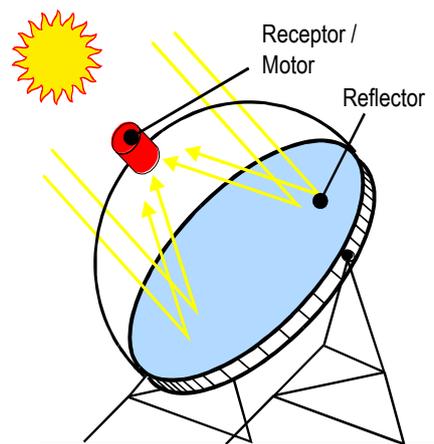


Figura 7. Esquema de un disco parabólico.

Los sistemas de disco parabólico aun se encuentran en fase de desarrollo. Se caracterizan por su alto rendimiento, modularidad y autonomía.

1.3.1. Concentrador

La forma de la superficie reflectante debe asemejarse lo más posible a un paraboloide de revolución. El tamaño del concentrador dependerá tanto de la potencia nominal como de la energía a generar en un periodo de tiempo para unas determinadas condiciones de radiación solar y rendimientos asociados de los elementos que constituyen el sistema.

Los discos parabólicos pueden ser construidos tanto con facetas que aproximan de forma discreta a la geometría del paraboloide o con membrana tensionada de metal aproximando así de manera continua a la geometría buscada. La superficie reflectante se consigue a base de espejos de vidrio o de películas reflectantes.

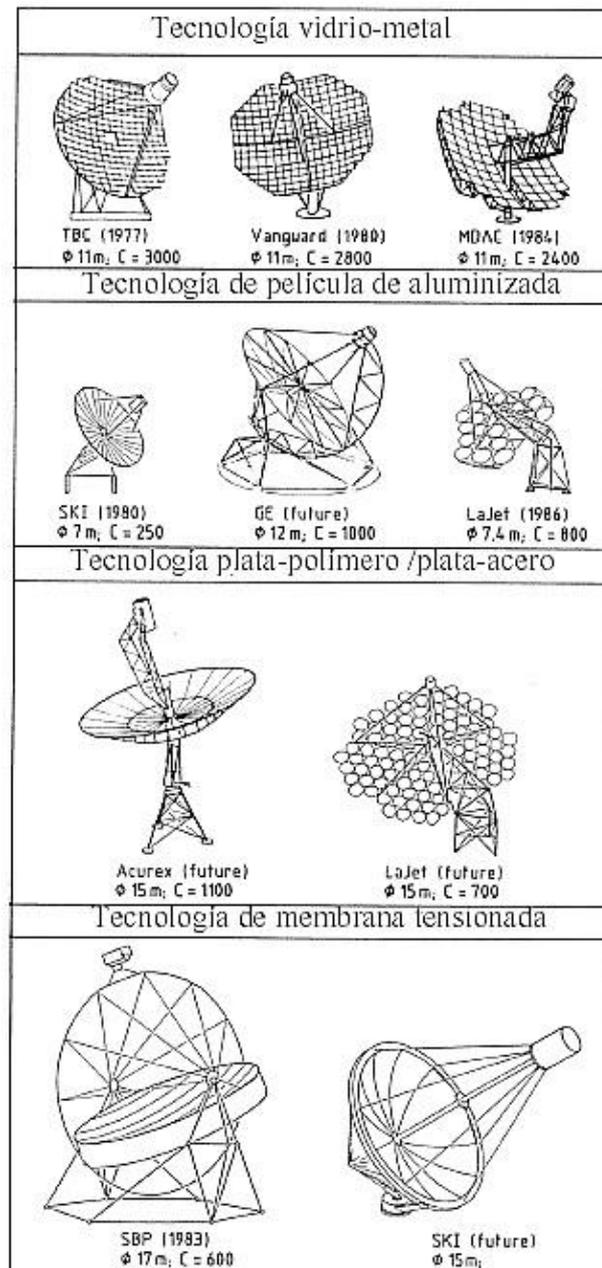


Figura 8. Tipos de discos parabólicos

1.3.2. Receptor

El receptor de un sistema de disco parabólico tiene la función de absorber la radiación solar reflejada por el concentrador y transferir esa energía absorbida al fluido de trabajo de la máquina térmica asociada.

Los receptores empleados en discos parabólicos son receptores de cavidad, en los que la radiación concentrada entra por una apertura situada en el foco del paraboloide, incidiendo sobre el absorbedor. De esta forma se consiguen disminuir las pérdidas por radiación y convección, así como disminuir los gradientes de flujo radiante incidente sobre el absorbedor y reducir su valor máximo.

Existen varios tipos de receptor de disco parabólico entre los que se encuentran los receptores de tubos directamente irradiados, los receptores volumétricos presurizados y los receptores de reflujo.

Los receptores de tubos directamente iluminados permiten una adaptación directa del calentador de los motores Stirling convencionales. En estos receptores el absorbedor está formado por un haz de tubos por donde circula el fluido de trabajo del motor. La radiación incide directamente sobre estos tubos y es transformada en energía térmica y transmitida al fluido de trabajo. Las altas temperaturas de trabajo de estos absorbedores (del orden de 700 °C) dificultan el empleo de recubrimientos selectivos por el gran solape de la radiación emitida y absorbida. Un inconveniente de estos receptores es la falta de uniformidad en el flujo de radiación incidente en el absorbedor, lo cual trae como consecuencia el que la temperatura en los tubos absorbedores presente picos. Al evitar sobrepasar la máxima temperatura permitida en los materiales se limita la máxima temperatura del fluido de trabajo.



Figura 9. Receptor de tubos directamente iluminados para disco parabólico

En los receptores de reflujo se emplea un fluido intermedio para la transmisión del calor. Este fluido intermedio es un metal líquido (normalmente sodio) que se evapora en la superficie del absorbedor y condensa en los tubos por donde circula el fluido de trabajo. Al condensar, el metal líquido regresa a la superficie del absorbedor por gravedad. La gran capacidad de transmisión del calor de los metales líquidos (hasta 800 W/(K·cm²)) permite desarrollar receptores más pequeños. Mediante la condensación de

este metal líquido se consigue un calentamiento más uniforme del fluido de trabajo, y éste se produce realmente a temperatura constante, lo que permite trabajar con temperaturas máximas del fluido de trabajo más cercanas a las máximas admisibles por los materiales. Este tipo de receptor permite el diseño independiente de receptor y motor, evitando los compromisos de diseño entre ambos que limitaban el rendimiento en el caso de los receptores de tubos directamente iluminados. Con un receptor de reflujo se facilita la hibridación del sistema. Existen dos tipos de receptores de reflujo:

- Pool boiler, en el que hay una poza de metal líquido siempre en contacto con el absorbedor y de donde va evaporándose éste para ir hacia el calentador del motor.
- Heat pipe, en el que el líquido metálico asciende por fuerzas de capilaridad por unas mechas situadas en la parte posterior del absorbedor, de donde se evapora para ir a condensar en el calentador del motor. Las gotas de metal líquido condensan aquí y por gravedad caen al absorbedor donde mojan las mechas y empiezan a subir por capilaridad. La reserva de metal líquido dentro del receptor es en este caso mucho más pequeña.

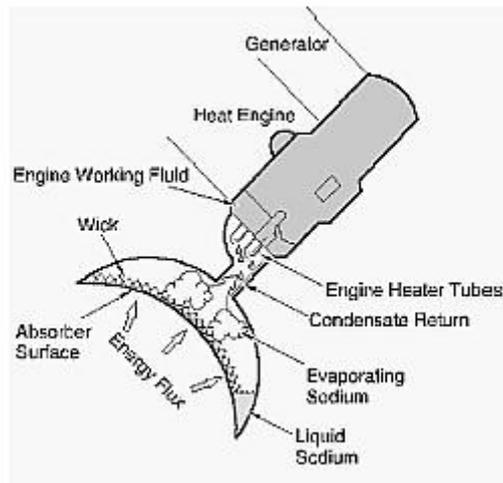


Figura 10. Receptor de reflujo tipo "heat pipe" para disco parabólico

Los receptores volumétricos presurizados se usan en microturbinas de gas. El flujo de radiación solar entra en la cavidad cerrada a presión a través de una ventana de cuarzo, incidiendo sobre un material poroso que absorbe el calor. El aire presurizado pasa a través del material poroso calentándose para entrar en la turbina y generar energía. A la salida del receptor puede haber un quemador de gas natural que controla las condiciones de entrada del gas en la turbina.

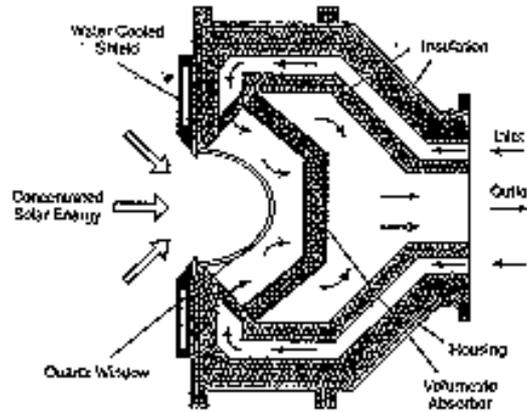
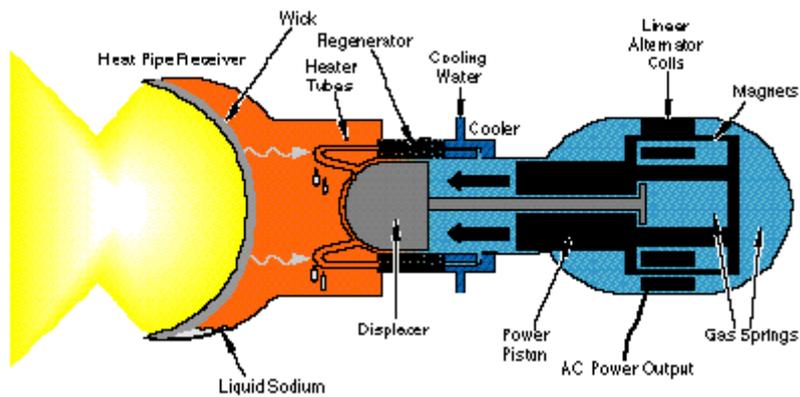


Figura 11. Receptor volumétrico presurizado VOBREC 4 para disco parabólico

1.3.3. Sistema de generación

El sistema generador está constituido por un ciclo termodinámico de potencia o máquina térmica y el generador propiamente dicho, que transforma la energía mecánica en electricidad. El desarrollo de los sistemas de discos parabólicos ha estado muy ligado a los motores Stirling. Las primeras aplicaciones del ciclo Stirling al aprovechamiento de la energía solar datan de 1872, siendo debidas a Ericsson.



Motor Stirling alimentado con energía solar

En la actualidad se comienza a emplear también ciclos de turbinas de gas, gracias al desarrollo de turbinas de gas de tamaño reducido y alto rendimiento. Las potencias de estos motores o turbinas suelen oscilar entre los 5 y los 25 kW, con rendimientos entre el 30% y el 40%.

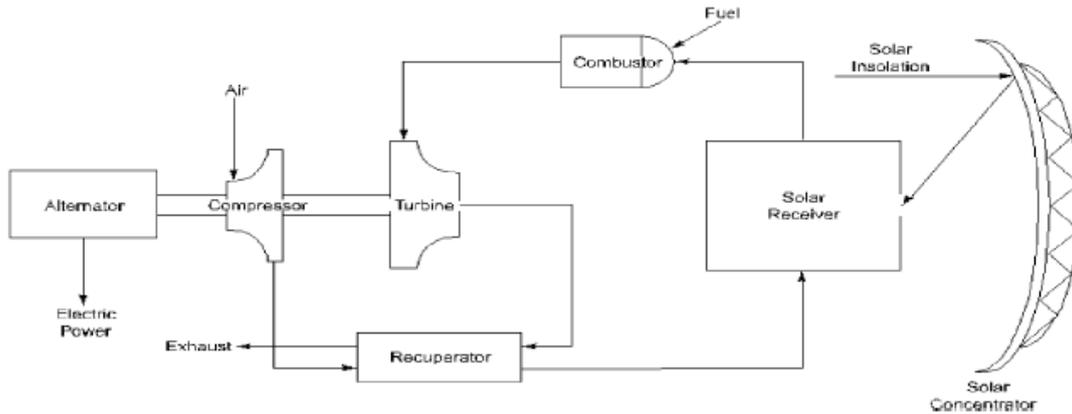


Figura 12. Esquema de turbina de gas de disco parabólico con hibridación y recuperación

1.3.4. Estructura soporte y mecanismos

Los discos parabólicos poseen una estructura soporte y unos mecanismos que permiten su orientación en dos ejes, para poder seguir la posición del Sol en todo momento. Existen dos tipos de seguimientos:

- Seguimiento acimutal-elevación, en el que el movimiento se realiza sobre los ejes vertical y horizontal.
- Seguimiento polar, en el que un eje sigue las variaciones estacionales y otro el giro de la Tierra.

El seguimiento acimutal-elevación es más fácil de montar, mientras que el seguimiento polar es más fácil de controlar.

3. El motor Stirling

El motor Stirling fue inventado originalmente por Robert Stirling, en 1816. Fue diseñado en principio para competir con el motor de vapor por ser más seguro y simple. Sin embargo, con la aparición del motor de combustión interna se abandonó su desarrollo durante muchos años.

Los motores Stirling tienen en general un pistón, que transmite la energía mecánica al cigüeñal, y un desplazador, que desplaza el fluido de trabajo entre las zonas caliente y fría. También pueden tener dos pistones, en los que uno actúa como desplazador. Existen varios tipos de motores Stirling. La clasificación más general depende de la geometría del motor:

- Motores alpha: Con dos pistones, cada uno en un cilindro, formando una uve entre ellos.
- Motores beta: El pistón y el desplazador se encuentran en el mismo cilindro.
- Motores gamma: El pistón y el desplazador se encuentran en cilindros distintos.

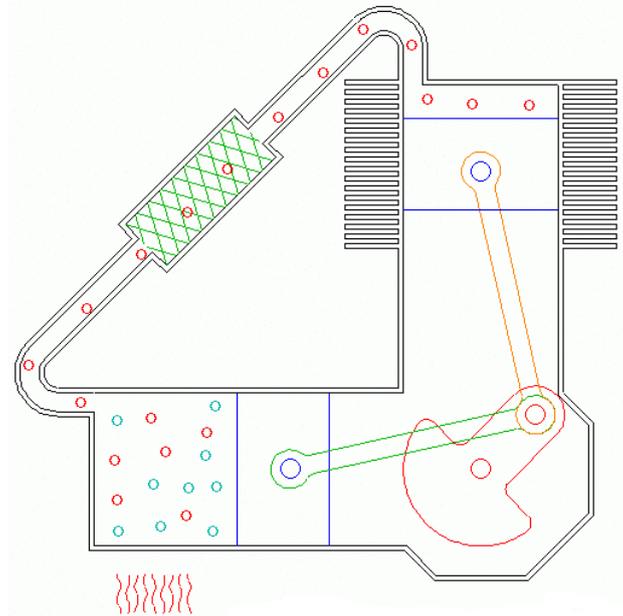


Figura 13. Motor Stirling tipo alpha

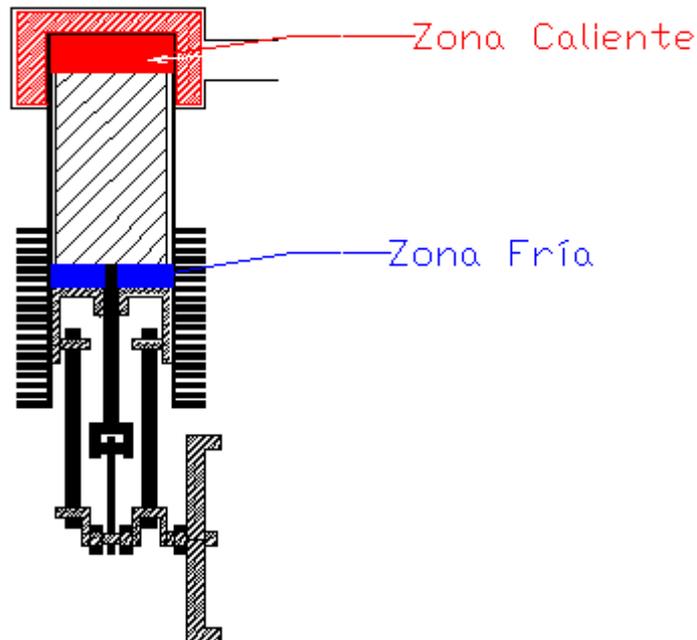


Figura 14. Motor Stirling tipo beta

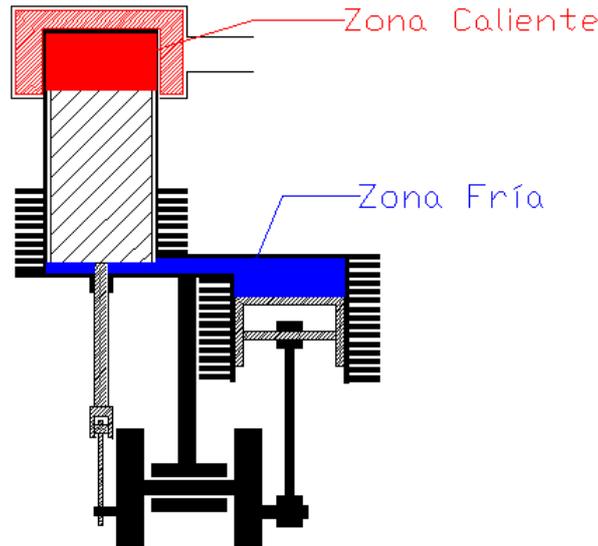


Figura 15. Motor Stirling tipo gamma

El ciclo del motor Stirling es cerrado, por lo que usa un gas encerrado en el motor para todas las etapas del ciclo. Este gas suele ser helio o hidrógeno. Además, el aporte de calor al motor Stirling se realiza externamente, por lo que se pueden utilizar diversas fuentes de calor, como energía nuclear, combustibles fósiles o energía solar.

El elemento más destacado del motor es el llamado regenerador. Este tiene la propiedad de poder absorber y ceder calor en las evoluciones a volumen constante del ciclo. El regenerador es un medio poroso, con conductividad térmica despreciable. Divide al motor en dos zonas: zona caliente y zona fría. El fluido se desplaza de la zona caliente a la fría a lo largo de los diversos ciclos de trabajo, atravesando el regenerador.

El ciclo Stirling consta de las siguientes etapas:

1-2: Compresión isotérmica.

2-3: Absorción de calor isocora.

3-4: Expansión isotérmica.

4-1: Cesión de calor isocora.

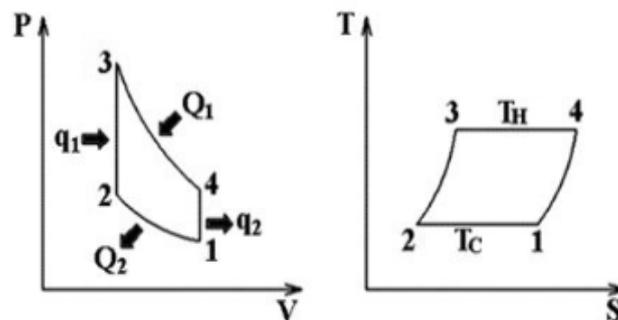


Figura 16. Diagramas P-V y T-S del ciclo Stirling

Las siguientes figuras muestran las etapas del ciclo en un motor Stirling de dos cilindros a 90°. En la etapa 4-1 (figura 20) el gas caliente pasa por el regenerador y éste absorbe parte de su calor para luego cedérselo en la etapa 2-3 (figura 18).

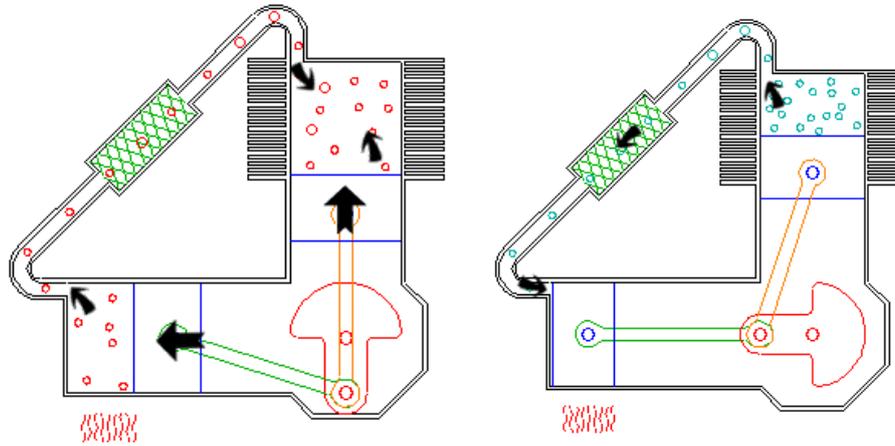


Figura 17. Compresión isotérmica del ciclo Stirling

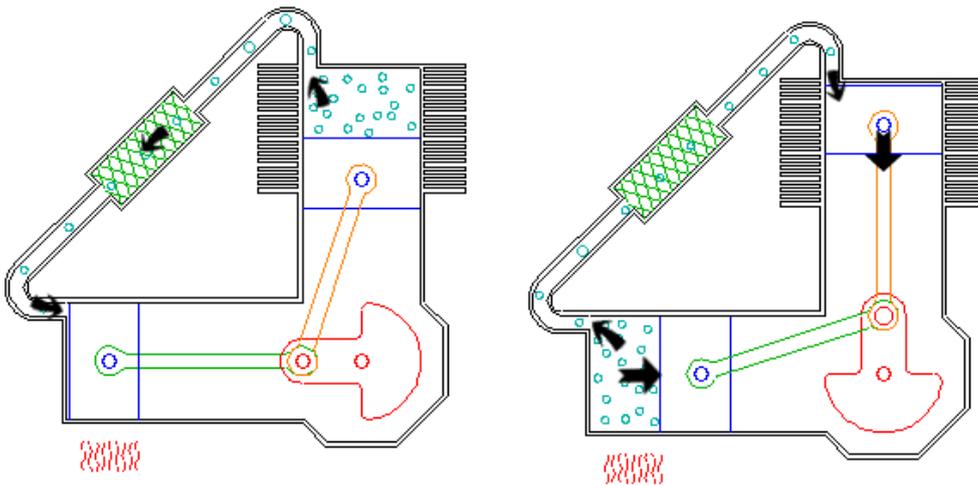


Figura 18. Absorción de calor isocora del ciclo Stirling

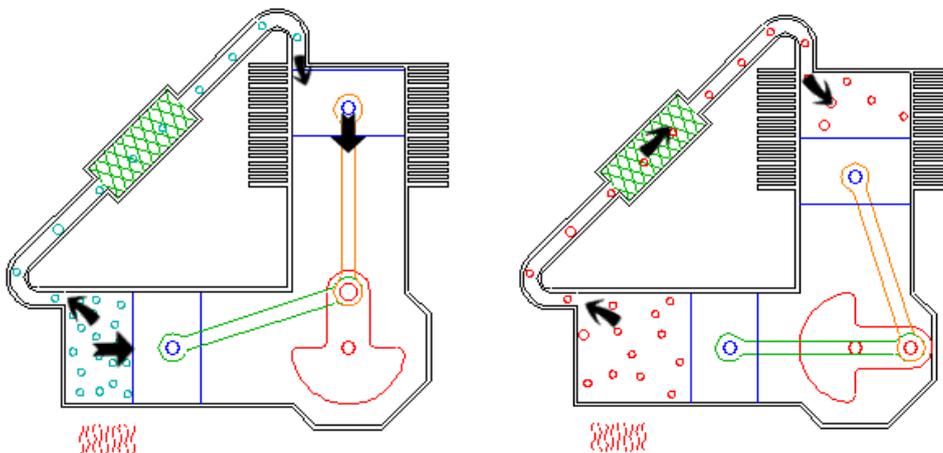


Figura 19. Expansión isotérmica del ciclo Stirling

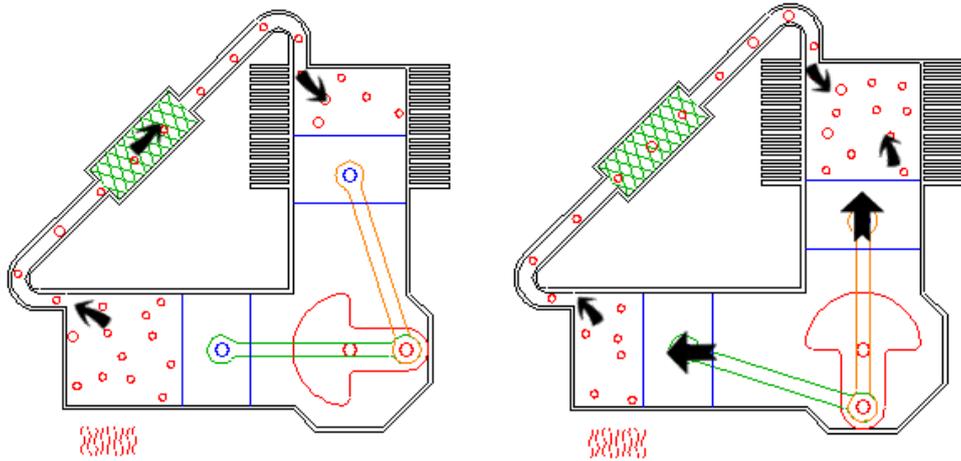


Figura 20. Cesión de calor isocora del ciclo Stirling

El ciclo real es un poco distinto del teórico, intentándose que se asemejen lo máximo posible mediante el mecanismo de biela-manivela.

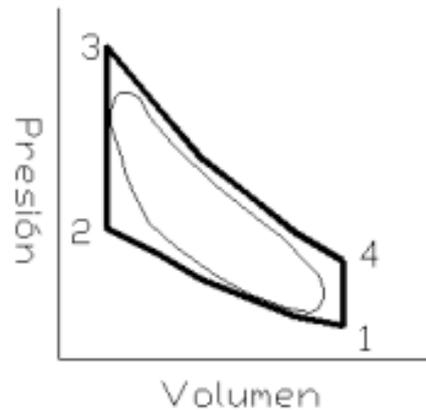


Figura 21. Comparación entre los ciclos Stirling real y teórico

También se puede usar el ciclo Stirling de refrigeración, que funciona de forma inversa al ciclo de potencia Stirling. En este caso se le aporta energía mecánica al motor y éste enfría uno de los focos.

Se ha intentado implementar el motor Stirling en automoción. Se han realizado numerosas investigaciones e invertido grandes cantidades de dinero. Sin embargo, los resultados no han sido satisfactorios, ya que el tiempo de reacción del motor Stirling es demasiado elevado.

Como ventajas del motor Stirling se tienen las siguientes:

- Elevado rendimiento, siendo el rendimiento teórico igual al rendimiento ideal de Carnot.
- Menor cantidad de elementos móviles que en los motores de combustión interna, teniendo menores pérdidas por fricción.

- En caso de que el aporte de calor fuera mediante combustión, ésta sería externa, permitiendo controlar mejor el proceso, disminuyendo así las emisiones.
- Se pueden utilizar diversas fuentes de calor, como energía nuclear, combustión fósil o energía solar.
- Bajo nivel de ruido y ausencia de vibraciones.

También se pueden enumerar algunas desventajas:

- Baja densidad de potencia debido al aporte de calor externo, lo que condiciona su tamaño.
- Difícil construcción del motor, impidiendo las fugas del fluido de trabajo, lo que eleva su coste.
- El fluido de trabajo se limita a helio o hidrógeno, debido a las exigencias en las propiedades de dicho fluido.
- Elevado tiempo de respuesta.
- Se requieren grandes superficies de intercambio, por lo que su tamaño es notablemente mayor en comparación a los motores de combustión interna.
- Elevado tiempo de encendido y apagado.

4. El disco solar Stirling EuroDish

En marzo de 2004 finalizó la instalación de un disco parabólico con motor Stirling en la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. Dicho sistema se llama EuroDish. Este sistema está integrado en el proyecto EnviroDish, que trata de instalar varios sistemas EuroDish en distintos países con el fin de obtener datos sobre el funcionamiento y los costes de los discos Stirling. Con estos datos se intentarán disminuir los costes de fabricación, instalación, operación y mantenimiento y se intentará mejorar el funcionamiento del sistema. El presente proyecto pretende ayudar en este objetivo realizando un análisis económico y termoeconómico del sistema instalado en la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla.

El sistema EuroDish de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla produjo energía por primera vez el día 26 de mayo de 2004 y por última vez el 28 de julio de 2008, habiéndose recogido datos de operación y costes durante todo este periodo.



Figura 22. Sistema de disco solar Stirling EuroDish

Las características de diseño del EuroDish son las siguientes:

Concentrador:

- Paraboloide de revolución formado con 12 espejos.
- 60 m^2 de área de espejos.
- $56,745 \text{ m}^2$ de área proyectada.
- 8,5 m de diámetro.
- Distancia focal de 4,5 m.
- Seguimiento solar en acimut-elevación.
- Factor de interceptación del 93%.
- Reflectividad del 94%.
- Área sombreada por las barras y el motor de $3,3 \text{ m}^2$ aproximadamente.
- Factor de concentración: 2500.
- Rendimiento del concentrador del 82%.

Receptor:

- Absorbedor de tubos de 3 mm de diámetro.
- Diámetro de la cavidad de 18 cm.
- Diámetro del absorbedor de 26 cm.
- Rendimiento del 86%.
- Temperatura media aproximada de 1000 K.



Figura 23. Receptor de sistema EuroDish

Motor:

- SOLO 161.
- Tipo alpha de dos cilindros.
- 160 cc de capacidad.
- 1500 rpm.
- Utiliza hidrógeno como fluido de trabajo.
- Rendimiento del 32%.
- Temperatura media de operación de 650 K aproximadamente.

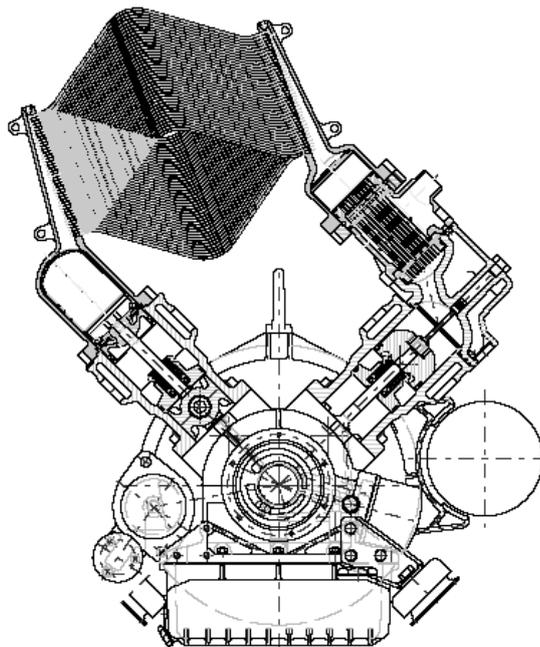


Figura 24. Esquema del motor SOLO 161 con el receptor solar

Alternador:

- Rendimiento del 91%.
- Corriente alterna trifásica a 480 V.

Información general del sistema:

- Producción pico de 8,5 kW.
- Rendimiento pico del 19% para 800 W/m².
- Rendimiento anual del 15,7%.

Estas características de diseño se han obtenido de [REINALTER, 2003], [Service and Operator's manual, 2004] y [MANCINI, 2003].

5. Referencias:

GONZÁLEZ OSTOS, M. *Análisis energético de un sistema termosolar de concentración de 10 kW eléctricos de potencia nominal*. Proyecto fin de carrera.

MANCINI, T. et al. *Dish-Stirling Systems: An Overview of Development and Status*. Journal of Solar Energy Engineering, mayo de 2003. DOI: 10.1115/1.1562634

ORDÓÑEZ BARREIRO, I. *Análisis de ciclo de vida de una instalación de disco parabólico*. Proyecto fin de carrera. Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos. Universidad de Sevilla. Febrero de 2006.

REINALTER, W. CHYSSOS, V. KECK, T. *CESI Eurodish Reference Manual Version 1.0*. Marzo de 2003.

Service and Operator's manual for the SOLO 161 Solar Stirling Unit. Marzo de 2004.

SILVA, M. A. *Aprovechamiento de la energía solar en media y alta temperatura. Sistemas termosolares de concentración*. Apuntes de la asignatura Energías Renovables de 5º de Ingeniería Industrial. Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos. Universidad de Sevilla. Curso 2004/2005.