

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS
DE UNA MEJORA DE EFICIENCIA DE UN COLECTOR
TÉRMICO DESARROLLADO ANTERIORMENTE**

**SARA MELISSA ALARCÓN ROJAS
SANTIAGO RUIZ SALAZAR**

Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo Electricista

Asesor Técnico:

Andrés Felipe Romero Maya

Asesor Metodológico:

Marco Antonio Monsalve Cadavid

M.Sc. en Ingeniería

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TECNOLOGÍA ELÉCTRICA

MEDELLÍN

2022

Contenido

| | |
|---|----|
| Resumen | 4 |
| Introducción | 4 |
| Planteamiento del Problema | 5 |
| Descripción | 5 |
| Formulación | 5 |
| Justificación | 5 |
| Objetivos | 6 |
| Objetivo general | 6 |
| Objetivos específicos | 6 |
| Marco Teórico | 6 |
| Potencial Eléctrico. | 6 |
| Aprovechamiento de la energía solar. | 7 |
| ¿Qué es la energía solar térmica? | 7 |
| Para qué sirve la energía solar térmica? | 8 |
| ¿Qué es la energía solar térmica? | 8 |
| Colector plano clásico | 8 |
| | 9 |
| Colector solar de vacío. | 9 |
| Clasificación de los concentradores por temperatura | 11 |
| Concentradores de Baja Temperatura | 11 |
| Concentradores de media temperatura | 11 |
| Concentradores de Altas Temperaturas | 14 |
| Disco Parabólico | 15 |
| Sistemas de Disco Parabólico- Stirling | 15 |
| Energía térmica Vs energía eléctrica | 16 |
| El motor de Stirling | 16 |
| Ventajas: | 18 |
| Desventajas: | 18 |
| Aplicaciones | 18 |
| Tipos de Motores Stirling | 19 |

| | |
|--|----|
| Motores tipo alfa | 19 |
| Motores tipo beta | 20 |
| Motores tipo gamma | 20 |
| Generador de electricidad. | 21 |
| GENERADORES DE IMANES PERMANENTES | 21 |
| Metodología | 22 |
| Resultados del proyecto | 23 |
| Conclusiones | 23 |
| Referencias Bibliográficas | 24 |
| | |
| Figura 1 Estimado de radiación solar en el mundo | 2 |
| Figura 2 Partes basicas de un colector solar termico de placa plana . | 8 |
| Figura 3Colector Solar Térmico y Componentes Principales | 2 |
| Figura 4 Partes de un colector de placa plana | 2 |
| Figura 5 Vista transversal de un colector de tubos del tipo heat-pipe | 2 |
| Figura 6 Vista transversal de un colector de tubos de vacío de flujo directo | 2 |
| Figura 7 Colector solar compuesto | 2 |
| Figura 8 Colector solar térmico parabólico | 2 |
| Figura 9 Esquema de un concentrador lineal Fresnel | 2 |
| Figura 10 Tabla de eficiencia de colectores | 2 |
| Figura 11 Cilindro Parabólico | 2 |
| Figura 12 Disco Parabólico | 2 |
| Figura 13 Sistema de torre potencia | 2 |
| Figura 14 Sistema Disco Parabólico-Stirling | 16 |
| Figura 15 Funcionamiento de un motor Stirling | 2 |
| Figura 16 Motor Stirling tipo alfa | 2 |
| Figura 17 Motor Stirling tipo beta | 2 |
| Figura 18 Motor Stirling tipo gamma | 22 |
| Figura 19 Representación grafica de el disco parabolico | 2 |
| Figura 20 Grafica Parabola y Foco | 2 |
| Figura 21 Disco Parabolico | 2 |
| Figura 22Base del concentrador | 2 |
| Figura 23 Comienzo recubrimiento de espejos | 2 |
| Figura 24 Soporte motor stirling | 2 |
| Figura 25 Motor Stirling instalado en el foco | 2 |
| Figura 26 Soporte de motor y espejos terminado | 26 |
| Figura 27 Proyecto Terminado | 2 |

Palabras claves: Motor Stirling, Sol, Electricidad, Concentrador.

Introducción

En Colombia la preocupación por el ahorro energético ha llevado al gobierno nacional, al sector privado, a los grupos de investigación de altas energías y energías renovables a pensar en soluciones, económicas, ambientales y científicamente posibles en busca de fuentes alternas de energías renovables limpias y seguras, cuya disponibilidad es visible como en el caso de la energía eólica, biomasa, energía solar, entre otras.

La energía solar es en esencia el estudio más importante de las energías renovables, ya que se han creado en países desarrollados incentivos de carácter económico e investigativo para el desarrollo de nuevas tecnologías e infraestructuras que permitan el aprovechamiento de la energía solar, luego su principal ventaja con la que cuenta la energía solar es que se trata de un recurso inagotable que está al alcance de todos. La eficiencia energética y la búsqueda de nuevas fuentes de energía han llevado a investigar aplicaciones de la energía solar para generación de energía eléctrica.

La energía solar posee numerosas aplicaciones donde puede ser utilizada. Estas se clasifican en tres grupos: generación térmica, de trabajo y de frío. El primer grupo contiene la generación de calor para calefacción, agua caliente sanitaria, desecación y refrigeración. En el segundo grupo se puede dar de forma térmica y de forma fotovoltaica y el tercer grupo se produce por medio de máquinas de absorción. (Gerardo Rivera Barrera, 2016)

Finalmente, para utilizar eficazmente este recurso energético, se diseñará un concentrador solar disco parabólico para la generación de energía eléctrica a través de un motor Stirling, un generador y así poder obtener un óptimo rendimiento energético a partir de su diseño y aplicación.

Planteamiento del Problema

Descripción

Actualmente, para la gran mayoría de colombianos, obtener un poco de corriente eléctrica es una de las cosas más sencillas de la vida, consta solamente de accionar un interruptor, abrir una nevera o conectar algún tipo de artefacto para que la energía esté en el lugar como por arte de magia, sin embargo, esto no es un beneficio con el que cuentan todas las personas residentes en nuestro país, según el artículo de Sáenz en 2017 [1] se ve que aproximadamente 470.000 familias distribuidas a lo largo del territorio no cuentan con él y esto acarrea grandes consecuencias tanto para su salud y bienestar como para su calidad de vida. Para solucionar dicho conflicto social, el Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica, realizado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) del Ministerio de Minas y Energía, considera que se requieren poco más de \$4,3 billones que serían utilizados, en materiales,

infraestructura, mano de obra e incluso el porcentaje otorgado como el extra para la corrupción, sin embargo, el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE) dispuso \$100.000 millones para 2017, y para 2018 esta cifra se reduciría a \$56.000 millones, pudiendo favorecer solo al 89% de la población, teniendo en cuenta que este porcentaje es susceptible a una conexión a través de plantas Diésel, mientras que el 11% restante tendría que ser suplido mediante energías renovables como la energía solar térmica [1] .

Formulación

Generar energía eléctrica a través de un prototipo de colector solar de disco parabólico, acoplado a un motor Stirling como fuente de energía mecánica y un generador de pequeña escala.

Justificación

El proyecto es viable ya que al contrario que las fuentes tradicionales de energía como el carbón, el gas, el petróleo o la energía nuclear, cuyas reservas son finitas, la energía del sol está disponible en todo el mundo y se adapta a los ciclos naturales . Por ello son un elemento esencial de un sistema energético sostenible que permita el desarrollo presente sin poner en riesgo el de las futuras generaciones. (Willian Carrión Chamba, 2021) Por ende el uso de colectores solares nos permite aprovechar la energía del sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica como lo es en el caso de este proyecto de grados.

De manera ambiental, es importante recalcar que esta implementación de energía solar, disminuye en un gran porcentaje la contaminación y disminuye el deterioro de la capa de ozono causado por la generación de energía de maneras convencionales, sin contar de la gran contaminación de ríos, quebradas y la alta radiactividad que algunas otras implementaciones de energía renovable causan.

De acuerdo con lo anterior, nuestro proyecto es viable, ya que favorece a toda la población, ayudando a su desarrollo y mejoría a futuro, ya que con este proyecto de grados se busca por medio de un prototipo demostrar que a partir de la energía calorífica del sol se puede generar energía mecánica que se convertirá en energía eléctrica, demostrando que si se puede generar así sea un poco de energía eléctrica con este prototipo con mejoras se podrá convertir en un gran generador de energía renovable.

Objetivos

Objetivo general

Construir un prototipo a escala de un colector parabólico conectado a un motor Stirling como generador eléctrico.

Objetivos específicos

- Diseñar un prototipo a escala de un colector parabólico y un generador eléctrico impulsado por un motor Stirling
- Escoger los materiales ideales para una alta generación de calor y a su vez una alta generación de energía
- Construir el prototipo del colector disco parabólico y el generador.
- Testar los resultados obtenidos tanto en lo calórico cómo en la cantidad de corriente obtenida.

Marco Teórico

Potencial Eléctrico.

“Según estudios, puede estimarse que la emisión de radiaciones solares totales al espacio, y con una aproximación de la temperatura alcanzada por el sol de 5.760°K , es de $3,84 \times 1.026$ Watts. De lo cual solo una diminuta fracción de ella alcanza a nuestro planeta, la potencia recibida en el caso de una distancia promedio al sol, se denomina constante solar, cuyo valor aproximado es de 1.367 KW/m^2 [7]. Esta cantidad se ve afectada y por ello disminuye su valor hasta aproximadamente 900 W/m^2 que es el valor de la radiación que atraviesa la atmósfera y llega al suelo. Para Colombia se estima que el potencial energético solar presenta un promedio diario multianual de aproximadamente 4.5 kWh/m^2 ; en las zonas costeras del país como en la Guajira y las Costas Atlántica y Pacífica se presentan los valores más altos de radiación, con un promedio entre 5.0 y 6.0 kWh/m^2 [8]. La distribución de la energía solar que llega a la Tierra no es uniforme, ya que diversos factores pueden afectar las radiaciones recibidas o percibidas en la superficie terrestre como son las condiciones climatológicas, que influyen en el grado de nubosidad, la precipitación, los vientos predominantes de la zona, etc. En la Figura 1, se presenta un esquema estimativo de la radiación solar en el mundo. Puede observarse que la radiación es superior en las zonas ecuatoriales y tropicales e inferior en las zonas polares.”

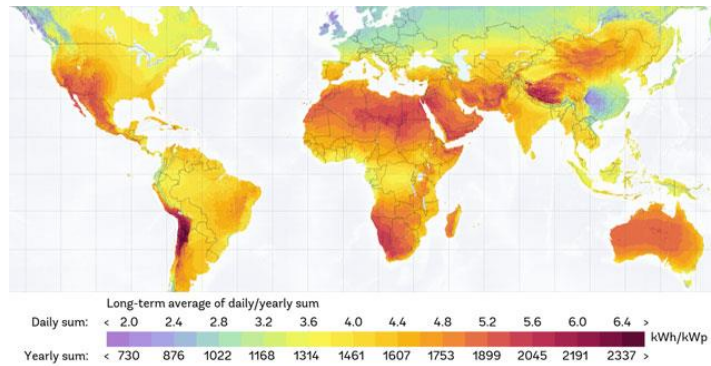


Figura 1 Estimado de radiación solar en el mundo

Aprovechamiento de la energía solar.

“En los tiempos actuales, el mundo industrializado ha buscado la mejor manera para aprovechar los recursos presentes y disponibles con los que contamos para reemplazar los procesos productivos actuales, buscando disminuir los efectos nocivos para la salud humana y del planeta en general provocados por las tecnologías actuales. Una de estas soluciones más nombradas hoy en día es el aprovechamiento de la energía solar térmica.”

¿Qué es la energía solar térmica?

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento del calor solar mediante el colectores, paneles solares térmicos, o en este caso, espejos; para la producción de agua caliente sanitaria se calienta directamente un fluido portador de calor que circula a través del circuito interior del panel solar térmico, siendo esta una forma limpia de calentamiento ya que no se quema ningún tipo de combustible fósil. En los calentadores a gran escala el agua caliente se almacena en un acumulador, estando disponible en cualquier momento. Dicha energía está demostrando ser el sistema para producción de agua caliente más económico y ecológico de entre todos los existentes en la actualidad.

Para qué sirve la energía solar térmica?

“La energía solar térmica tiene muchas aplicaciones, en viviendas puede proporcionar agua caliente sanitaria (ACS) en el hogar, calefacción, refrigeración y climatización de piscinas.”

¿Qué es la energía solar térmica?

“Este tipo de energía es obtenida mediante diferentes tipos de tecnologías, las cuales como nombre lo dice, consta de captar las radiaciones emitidas por el sol y aprovecha su potencial energético, para ser usados en distintos procesos productivos o para uso

doméstico. Los elementos fundamentales de una instalación solar térmica son colector solar, intercambiador, depósito acumulador.

El funcionamiento de este tipo de instalaciones es de fácil manipulación, en primer lugar, los rayos del sol llegan al colector solar, diseñado para capturar la energía que desde el Sol llega a la Tierra. Estos rayos calientan el fluido que hay en el colector; que, a través de un intercambiador, calienta el agua del depósito acumulador que es el lugar donde se almacena la energía recogida hasta que se precise su uso, estos colectores se instalan en un soporte con una inclinación determinada, con el objetivo de aprovechar al máximo la radiación solar En la Figura 2, se muestran las partes básicas de un colector solar térmico de placa plana.”



Figura 2 Partes basicas de un colector solar termico de placa plana .

Existen diferentes tipos de colectores, los cuales son presentados a continuación:

Colector plano clásico

“Colector de placa plana El colector solar de placa plana o Flat plate collector (FPC) transforma la energía solar en térmica empleando un panel compuesto por una cubierta acristalada, que permite el paso de la radiación solar hasta incidir y ser absorbida por la superficie selectiva de una placa absorbente. En la Figura 1 se observa un corte transversal de un colector FPC en donde se diferencia cada uno de sus componentes. La energía térmica después de ser interceptada en la placa se transfiere al interior de los tubos por donde circula el fluido caloportador, para finalmente pasar a un sistema de almacenamiento, o ser utilizado de manera directa . La pérdida de calor del sistema se reduce utilizando aislante térmico en la parte inferior y en los laterales de la carcasa; asimismo, la cubierta de vidrio cumple la función de minimizar las pérdidas de calor por convección y radiación emitida desde la placa absorbente . Los FPC tienen la particularidad de aprovechar la radiación solar directa y difusa; sin embargo, por ser estacionarios reciben menos energía por unidad de área del colector . Estos dispositivos actúan en un intervalo de baja temperatura ($< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) y, por tener una estructura simple a comparación con otros colectores, poseen un bajo costo en el mercado .”

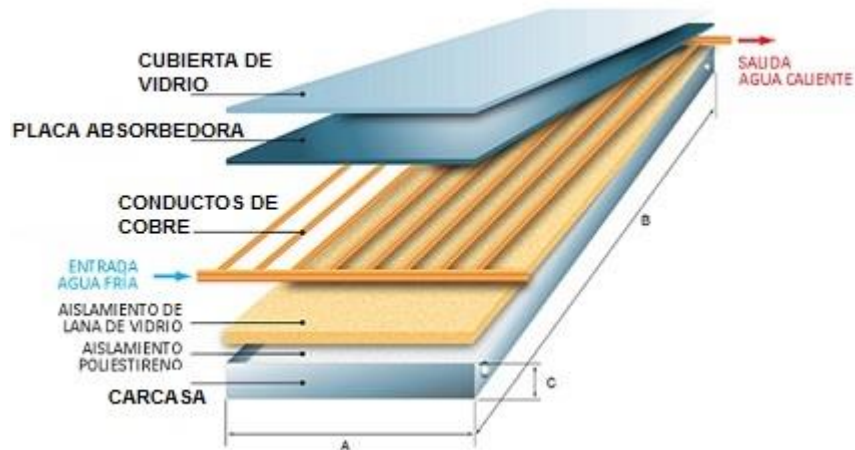


Figura 3 Colector Solar Térmico y Componentes Principales

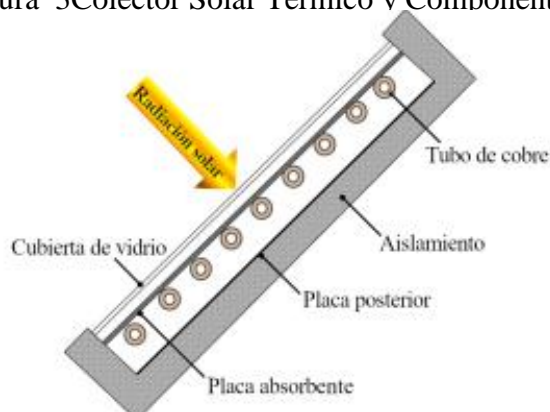


Figura 2 Partes de un colector de placa plana

Colector solar de vacío.

“El colector de tubos de vacío o evacuated tube collector (ETC) está compuesto de un número determinado de tubos de cristal en donde cada uno de ellos está compuesto por dos tubos concéntricos. El tubo interior se encuentra cubierto con una capa absorbente selectiva, mientras que cada unidad concéntrica es separada por el principio de sellado al vacío . El objetivo de generar el vacío es reducir las pérdidas de calor por convección y conducción; además, es una ventaja técnica que permite operar al dispositivo a temperaturas más elevadas que los FPC. La temperatura de operación del colector ETC puede alcanzar valores de hasta 120 °C . Además, la alta eficiencia térmica y los costos relativamente bajos de este colector son las razones principales de su alta competencia en el mercado . Existen dos tipos principales de colectores ETC”:

ETC del tipo heat-pipe: “Este colector se basa en el principio de funcionamiento denominado ciclo de evaporación-condensación. El proceso inicia cuando el tubo de calor recibe la radiación solar y hace que el fluido altamente volátil (por ejemplo, metanol o etanol) contenido en su interior cambie de estado líquido a gaseoso, provocando que el vapor se eleve a la parte superior del tubo donde se encuentra el condensador . El vapor al condensarse libera el calor latente hacia el circuito principal y luego el líquido condensado regresa a la parte inferior del tubo de calor para completar el ciclo de circulación . En la Figura 5 se muestra la sección transversal de un colector de tubos de vacío del tipo heat-pipe”.

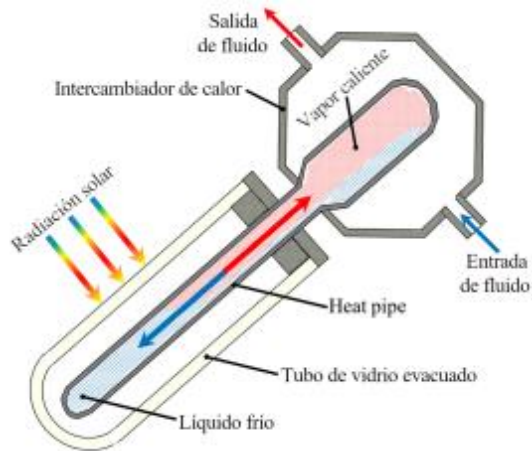


Figura 4 Vista transversal de un colector de tubos del tipo

ETC de flujo directo. En este colector, el interior del tubo absorbedor está aislado al vacío y tiene integrado una tubería en forma de U que permite la entrada y salida del fluido (Figura 5). La tubería interna es de metal y está cubierta con un revestimiento de material selectivo para acelerar la transmisión de calor hacia el fluido y reducir las pérdidas por radiación. Durante el proceso, el fluido frío ingresa y absorbe el calor de las tuberías en forma de U calentadas por la radiación solar para finalmente descargarse por la salida de las tuberías .

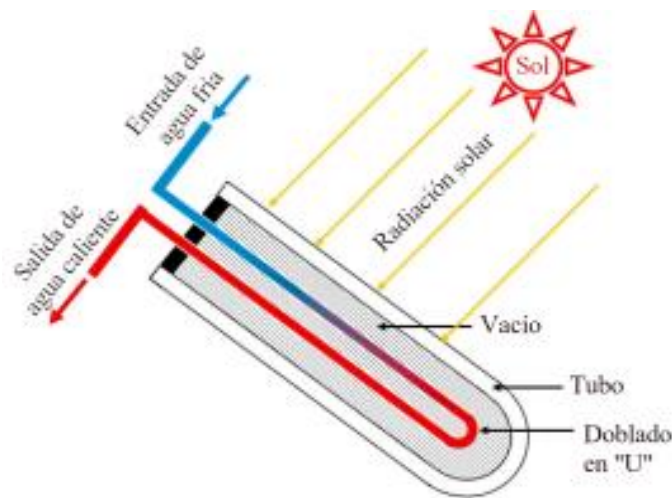


Figura 5 Vista transversal de un colector de tubos de vacío de flujo

Clasificación de los concentradores por temperatura

Concentradores de Baja Temperatura

Concentrador Parabólico Compuesto: El concentrador parabólico compuesto o compound parabolic collector (CPC) está conformado por dos superficies parabólicas cubiertas de material reflectante que comparten el mismo centro. El tubo absorbedor se sitúa en el centro de estas parábolas, con lo que se logra captar la radiación solar incidente que ingresa al área de apertura del colector dentro del ángulo de aceptación .

El diseño de construcción de estos dispositivos permite un mejor aprovechamiento de la radiación solar difusa y disminuye la acción de realizar ajustes de seguimiento continuo . Existen varios modelos que se adaptan para alcanzar mayor eficiencia; un ejemplo muy práctico es acoplar el CPC con tubos de vacío. En aplicaciones industriales los CPC alcanzan temperaturas $< 150\text{ }^{\circ}\text{C}$. La Figura 4 muestra una representación esquemática de este concentrador en donde se observa las dos superficies parabólicas que concentran la radiación solar en el tubo absorbedor

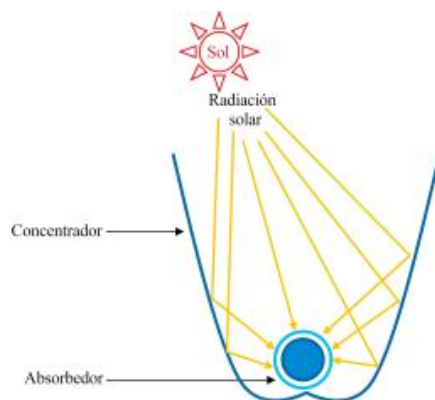


Figura 6 Colector solar

Concentradores de media temperatura

Concentrador cilindro Parabólico: El concentrador cilindro parabólico o Parabolic trough collector (PTC) dispone de una lámina en forma de parábola que refleja la radiación solar directa y la concentra en el tubo receptor ubicado a lo largo de la línea focal. Por lo general, el tubo absorbente de metal es cubierto de un material selectivo (cobre) que mejora la transferencia de calor al interior del tubo por donde circula el fluido caloportador. Este conducto absorbente es aislado al vacío con un tubo de vidrio para disminuir las pérdidas térmicas por convección a pesar de originarse pérdidas ópticas por efecto de la reflexión . Estos colectores deben acoplarse a un sistema de seguimiento para alinearse a la trayectoria del sol durante el día .

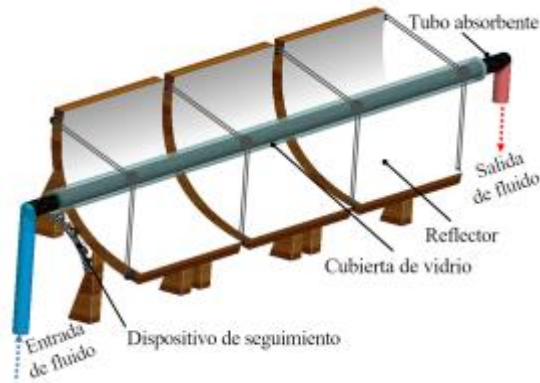


Figura 7 Colector solar térmico

La orientación del concentrador se puede configurar en dirección norte-sur con seguimiento este-oeste para captar mayor energía durante el verano; mientras que, si el objetivo es maximizar la energía en invierno la dirección adecuada del concentrador debe ser este-oeste con seguimiento norte-sur. Normalmente, en procesos industriales con este tipo de concentradores se emplean módulos de concentración solar con un área de captación menor a 250 m² y trabajan a una temperatura media por debajo de los 300 °C.

Colector lineal Fresnel El concentrador lineal tipo Fresnel o linear Fresnel collector (LFC) está compuesto por dos partes principales: un tubo absorbente estacionario por donde circula el fluido caloportador y una serie de espejos reflectores alineados horizontalmente que se acoplan a un sistema de seguimiento uniaxial. El principio de operación del concentrador ocurre cuando la radiación solar impacta en los espejos reflectores (curvos o planos) y se direcciona para concentrarse en el tubo absorbente (Figura 9).

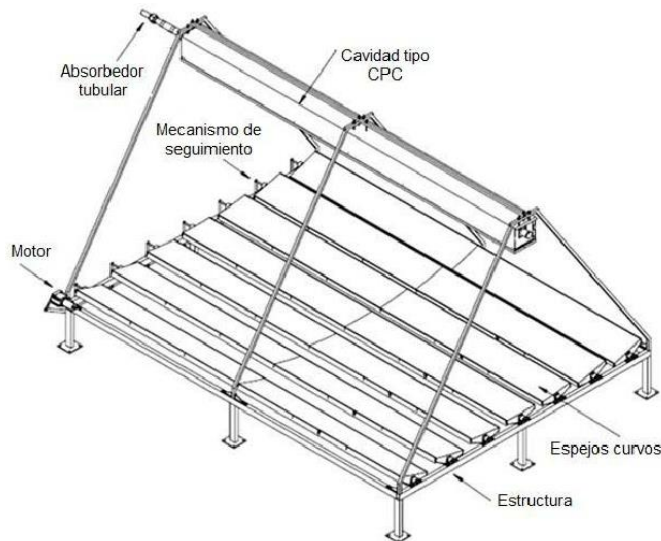


Figura 8 Esquema de un concentrador

Para maximizar la concentración de la energía solar, ciertos diseños optan por instalar un colector CPC sobre la parte superior del receptor o punto focal con el objetivo de redireccionar la radiación solar al tubo absorbente. Una de las ventajas que hacen competitivo al LFC con respecto a un PTC, es su fabricación simple, lo que implica un menor costo de inversión; sin embargo, las limitaciones ópticas y geométricas como el sombreado y bloqueo entre los espejos disminuyen el grado de eficiencia del concentrador. En procesos industriales este tipo de colector puede alcanzar intervalos de temperatura media ($60\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 250\text{ }^{\circ}\text{C}$). Para comparar el comportamiento entre concentradores, la ecuación de la eficiencia (η) puede ser empleada. $\eta = a_0 - a_1 (T_m - T_{amb}) G - a_2 (T_m - T_{amb})^2 G$ (1) Se puede observar en la grafica la comparación de eficiencias para varios colectores solares térmicos en donde: T_m corresponde a la temperatura media del fluido calotransportador, T_{amb} es la temperatura ambiente, a_0 es el rendimiento óptico, a_1 es el coeficiente de pérdidas de primer orden, a_2 es el coeficiente de pérdidas de segundo orden y G es la irradiancia global. Para esta comparación, se asume una irradiancia global de 1000 W/m^2 y una temperatura ambiente de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, se observa a través de la Ecuación (1) que los colectores FPC alcanzan una eficiencia elevada para un ΔT bajo, mientras que a medida que esta variable aumenta, su eficiencia disminuye drásticamente. Todo lo contrario, sucede con el resto de los colectores, en donde la eficiencia se reduce a medida que se incrementa el valor de ΔT de una manera no tan drástica. Incluso se observa que el colector PTC mantiene su eficiencia casi constante a medida que el diferencial de temperatura ΔT incrementa.

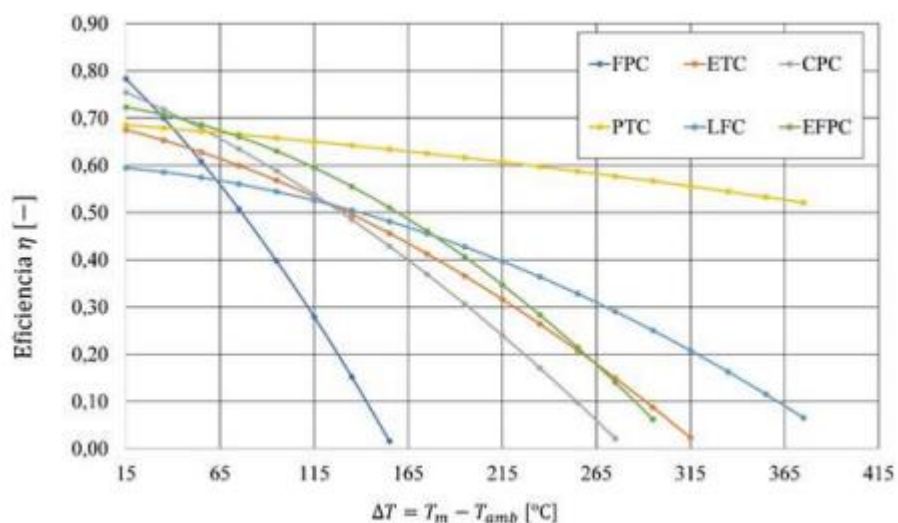


Figura 9 Tabla de eficiencia de colectores

Concentradores de Altas Temperaturas

Los colectores concentradores se pueden clasificar del siguiente modo, atendiendo a su factor de concentración:

Sistemas cilindro-parabólicos y sistemas Fresnel $C = 30-90$

Sistemas de torre de potencia (o de receptor central) $C = 200-2000$

Discos parabólicos (o discos Stirling) $C = 1000-5000$

Con cualquiera de estas tecnologías se busca concentrar los rayos solares, que son aproximadamente paralelos e incidentes en una gran superficie (el concentrador), en una superficie “pequeña” en términos relativos (el receptor). Por ello, la geometría óptima del concentrador es la de un paraboloide de revolución que se mueva de tal forma que siempre esté orientado hacia el Sol.

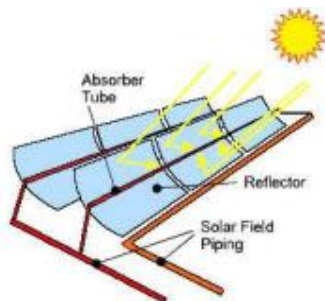


Figura 10 Cilindro Parabólico

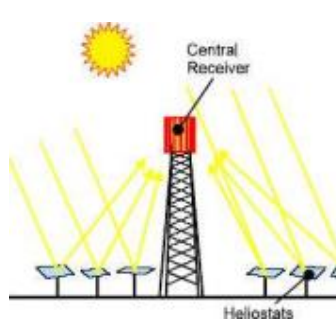


Figura 11 Sistema de torre potencia

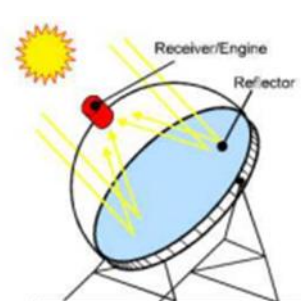


Figura 12 Disco Parabólico

Los sistemas cilindro parabólicos consisten en canales de espejos cilíndricos cuya sección transversal es una parábola, de tal forma que la radiación solar se concentra en el eje focal de dicha parábola, donde se encuentra el tubo absorbente o receptor. Los sistemas de torre de potencia están formados por espejos cuasi-planos denominados heliostatos, distribuidos en una superficie horizontal, y orientados de manera que reflejen la radiación solar hacia la parte superior de la torre, donde se coloca el receptor. Los discos Stirling son espejos de tipo paraboloide de revolución. Llevan acoplados un motor de combustión externa tipo Stirling y son instalaciones más autónomas, ya que por cada concentrador paraboloide se dispone de un motor independiente, pudiéndose generar desde unas decenas de kilovatios eléctricos con una unidad aislada hasta el orden de megavatios con un campo solar de discos convenientemente distribuidos. Los sistemas Fresnel como el de la Imagen 9, son desarrollos más recientes aunque mantienen la misma filosofía de los colectores cilindroparabólicos. En este caso, el tubo absorbente permanece inmóvil y son los espejos, situados en el suelo, los encargados de mantener el enfoque y concentrar la radiación solar sobre el receptor. (Leal, Marzo 2011)

Disco Parabólico

“Los concentradores parabólicos, poseen una superficie reflectante, ya sea de metal, de vidrio o de plástico, refleja la radiación solar directamente en una pequeña región que denominaremos foco, o zona focal.

El tamaño del concentrador solar está determinado por el motor utilizado, su receptor y las condiciones de radiación directa de la zona de su instalación.

Los materiales con lo que están fabricados son, por ejemplo, en cuanto a su estructura, algunos se realizan con planchas de plástico reforzado, con fibra de vidrio o estructura metálica, y en cuanto a las superficies de reflexión las más usadas son espejos de plata y vidrio.

El concentrador ideal es un paraboloide de revolución, para que asegure que todos los rayos se concentren en la superficie del receptor” (Tecnológica)

Sistemas de Disco Parabólico- Stirling

“Los sistemas de disco parabólico, o mejor conocidos como Dish-Stirling, deben su nombre a que están diseñados por un conjunto de espejos para reflejar y concentrar la radiación proveniente de los rayos solares en un receptor, con el fin de alcanzar las temperaturas necesarias para convertir el calor en trabajo dentro del ciclo del motor Stirling. La radiación solar concentrada es absorbida por el receptor y transferida a la fuente caliente del motor. Para lograr esto constantemente y sin interrupciones, el plato debe seguir la trayectoria del sol en dos ejes. Los discos-Stirling, por su tamaño, independencia y modularidad, pueden abastecer de electricidad a regiones donde la densidad de población es baja y dispersa. Llevar electricidad a estas regiones con sistemas convencionales resulta poco rentable” (Tecnológica)

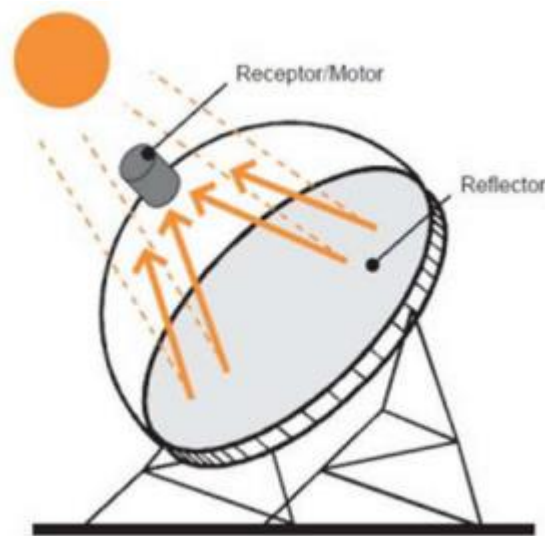


Figura 14 Sistema Disco Parabólico-Stirling

Energía térmica Vs energía eléctrica

“Es bastante habitual encontrarnos entre las características de equipos de climatización dos conceptos: energía eléctrica y energía térmica, o sus derivadas, potencia eléctrica y potencia térmica. Vamos a ver que quiere decir cada una y que relación hay entre ellas.

En primer lugar, es necesario entender la diferencia entre energía y potencia, puedes consultarlo en nuestro post: «Energía y potencia: definiciones para dummies». En este tipo de etiquetas o documentos de información sobre equipos, lo más normal es que nos encontremos con datos de potencia, usualmente en kW (no kW/h).

Una vez tenemos esto claro, veamos que representa cada uno de estos términos:

Potencia eléctrica (consumo, input power, etc.): Es el consumo eléctrico nominal del equipo como su propio nombre indica. Este valor no será constante en el tiempo, puede variar en un rango bastante amplio, sobre todo si el equipo es inverter.

Potencia térmica (capacidad, cooling power, heating power, etc.): Dicho de forma que todo el mundo lo pueda entender, es la cantidad de calor (o frío) que un equipo puede dar. En las bombas de calor la potencia en calefacción suele ser algo superior a la de refrigeración ya que el calentamiento del compresor «juega» a favor de la calefacción.

Muchas veces sucede que algunas personas se asustan al leer la potencia térmica del equipo pensando que es el consumo eléctrico (bastante inferior), e imaginándose una factura de la luz descomunal a final de mes. Lo dos términos se suelen medir en kW ya que representan potencia, pero el concepto es diferente.”

Si estamos leyendo las características de un radiador eléctrico (o calor azul), los términos potencia eléctrica y potencia térmica puede que sean iguales (o casi), ya que la transformación de energía eléctrica en térmica por efecto joule tiene un rendimiento cercano al 100%: «Por cada vatio consumido, se emite 1 vatio de calor». Por lo tanto, en este tipo de equipos encontraremos indicada una sola potencia.

Por otro lado, si hablamos de *bombas de calor*, la potencia térmica puede ser hasta 4 veces la eléctrica ya que el resto de energía se extrae del foco frío (o caliente), de forma que por cada vatio de electricidad consumido, podemos disponer de 4 vatios de calor (o frío).

El motor de Stirling

“El motor Stirling fue inventado en 1816 por el reverendo escocés Robert Stirling, el objetivo era tener un motor menos peligroso que las máquinas de vapor. El principio de funcionamiento en términos simples, es el trabajo mecánico realizado por la expansión (cuando se calienta) y contracción (cuando se enfría) de un gas en un recinto cerrado.”

“Para el funcionamiento es necesario disponer de un foco frío y otro caliente, es decir, es necesaria la presencia de una diferencia de temperaturas entre dos focos.”

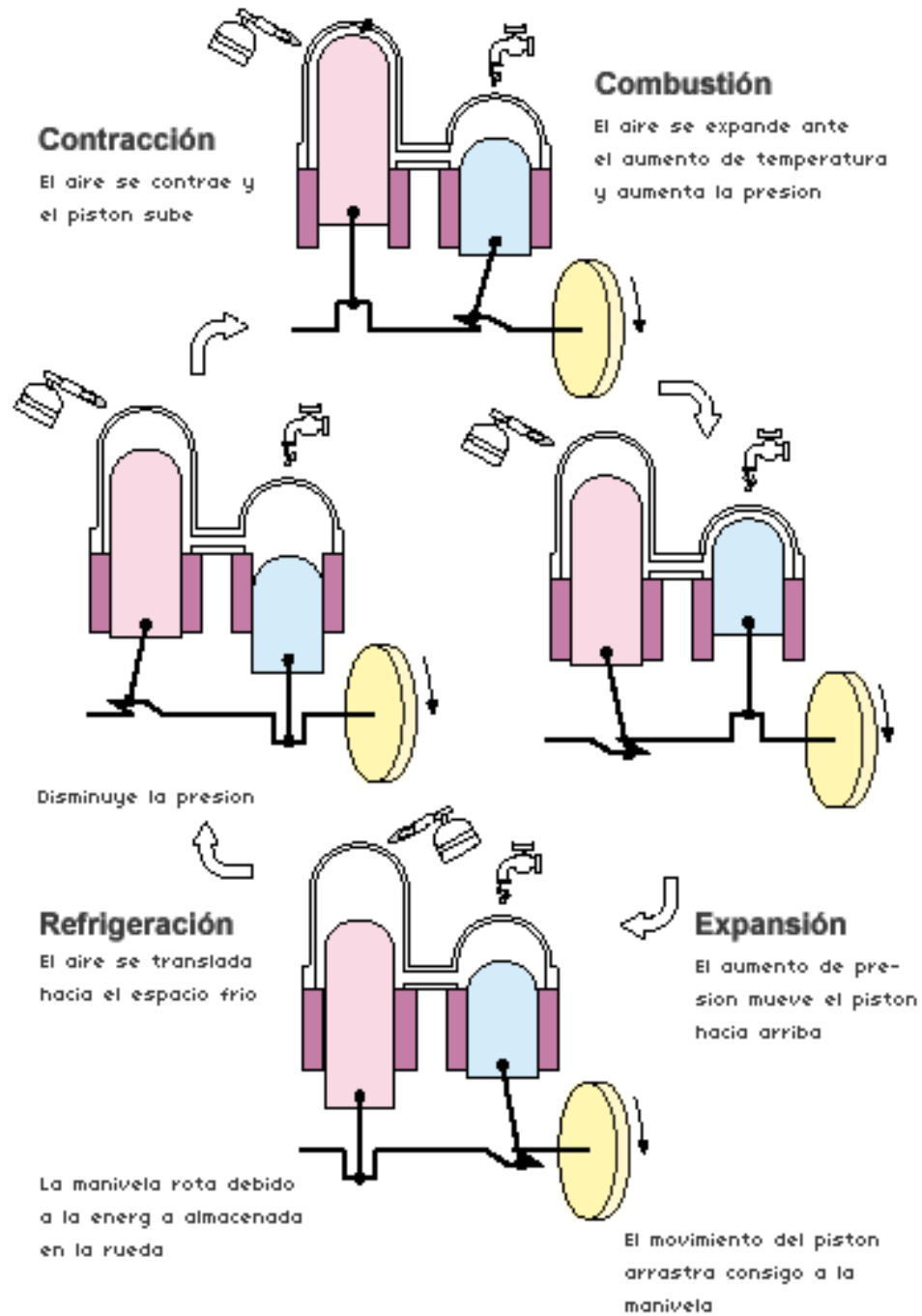


Figura 13 Funcionamiento de un motor Stirling

Ventajas:

- El aporte de calor es externo, por lo que las condiciones de combustión son flexibles.
- Funciona con cualquier fuente de calor, no solo por combustión, por lo que se puede utilizar fuentes de calor como solar, geotérmica, nucleares, biológicas, etc.
- Se puede usar un proceso de combustión continua, por lo cual se pueden reducir la mayor parte de las emisiones (hollines, hidrocarburos, ...)
- La mayoría de los motores Stirling tienen los mecanismos y juntas en el foco frío, y por tanto necesitan menos lubricación y duran más que otras máquinas alternativas.
- Los mecanismos son más sencillos que en otras máquinas alternativas, estos es, no necesitan válvulas, el quemador puede simplificarse.
- Una máquina Stirling usa un fluido de trabajo de una única fase, manteniendo las presiones internas cercanas a la presión de diseño y por tanto se reducen los riesgos de explosión. En comparación una máquina de vapor usa agua en estados líquido y vapor, por lo que un fallo en una válvula puede provocar una explosión peligrosa.
- En algunos casos, las bajas presiones, permiten utilizar cilindros ligeros.
- Se pueden construir para un funcionamiento silencioso y sin consumo de aire para propulsión de submarinos o en el espacio.
- Arrancan con facilidad (despacio y después del calentamiento inicial) y funcionan mejor con temperaturas ambientales frías, en contraste con los de combustión interna que arrancan con facilidad en temperatura templada pero con problemas en temperaturas frías.

Desventajas:

- Baja densidad de potencia debido a la combustión externa, lo que condiciona su tamaño.
- Dificultad en la construcción del motor para sellar el fluido de trabajo durante toda la vida útil, lo que eleva su coste.
- Se requieren grandes superficies de intercambios de calor, lo que hace aumentar desmesuradamente su tamaño en comparación con los motores de combustión interna.
- Largo tiempo de encendido y apagado del motor.
- Lento tiempo de respuesta. Un motor Stirling no puede arrancar instantáneamente, tiene que primero “calentarse”. Esto es cierto para todos los motores de combustión externa, pero menor que otros como la máquina de vapor. Su mejor uso es en motores que requieran una velocidad constante.

Aplicaciones

- **Conversión** de la energía solar en eléctrica.
- En **submarinos**, el motor Stirling es la base de la propulsión de algunos motores pues permite recargar las baterías a altas profundidades.

- Se pueden usar para bombear agua, pudiendo diseñarse para utilizar el agua como refrigerante del foco frío, (a menor temperatura del agua mejor funcionamiento)
- Son extremadamente flexibles pudiéndose utilizar para cogeneración en invierno y como refrigeración en verano.
- **Yates:** existe un tipo específico de motor Stirling que está especialmente diseñado para yates
- **Enfriadoras:** una de las características del motor Stirling es que es un ingenio reversible, es decir, puede ser usado como motor aplicando calor de forma que genera movimiento, o puede ser usado como máquina, consiguiendo producir frío y calor cuando se le aplica movimiento mecánico mediante un motor exterior. Diseñando el artefacto Stirling de la manera correcta, se pueden llegar a alcanzar los 10° K. - es decir, -263° C - y se usan en aparatos de alta tecnología.

Tipos de Motores Stirling

Motores tipo alfa

“Diseñado por Rider, en EEUU, funciona bajo el mismo principio termodinámico pero no usa desplazador, a diferencia del motor de la patente original de Stirling.

Consta de dos cilindros independientes conectados por un tubo en el que se sitúa el regenerador que almacena y cede el calor, en cada uno de los cilindros hay un pistón que se mueve 90 grados desfasado respecto al otro.

Uno de los cilindros se calienta mediante un mechero de gas o alcohol y el otro se enfría mediante aletas o agua.

El desfase entre los dos pistones hace que el aire, pase de un cilindro a otro calentándose, enfriándose y realizando el trabajo que permite el funcionamiento del motor.”

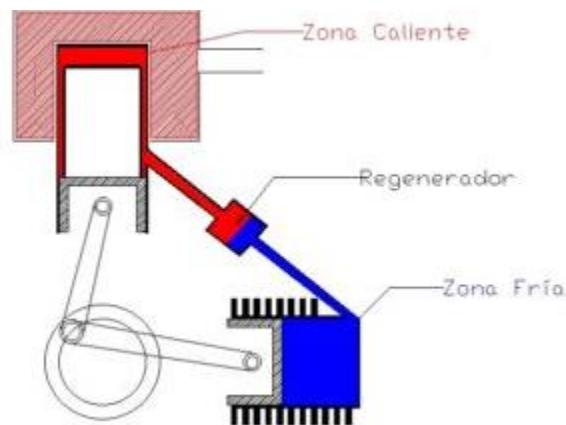


Figura 14 Motor Stirling tipo alfa

Motores tipo beta

“Como el primero realizado por Stirling, con el pistón de potencia concéntrico al desplazador y en el mismo cilindro. Motores tipo beta Consta de un cilindro, con una zona caliente mediante un mechero de gas, alcohol etc. y una zona fría, refrigerada por aletas, agua etc.

Mediante un cigüeñal especial el movimiento del pistón y el desplazador están desfasados 90 grados, lo que permite que el motor funcione.

Desde el punto de vista termodinámico es el motor más eficaz, pero su construcción es complicada ya que el pistón debe de tener dos bielas y permitir el paso del vástago que mueve el desplazador.

Los motores pequeños no suelen llevar regenerador, tan solo una holgura de algunas décimas de milímetro entre el desplazador y el cilindro para permitir el paso del aire; los grandes, en cambio, suelen llevar un regenerador externo por el que debe pasar el aire en su camino de la zona fría a la caliente y viceversa.”

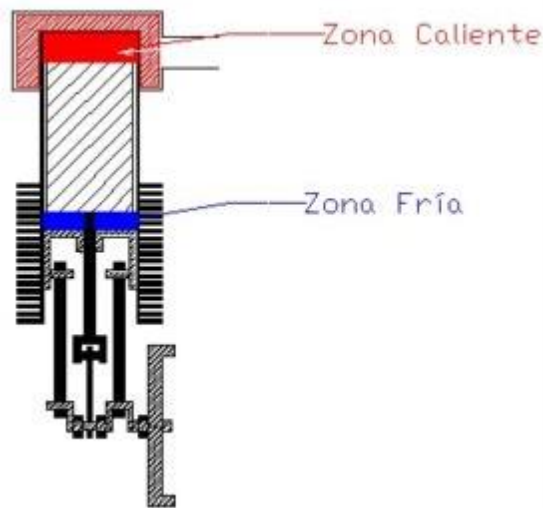


Figura 15 Motor Stirling tipo beta

Motores tipo gamma

“Es una variante del tipo beta, con idénticos sistemas para calentar y enfriar, pero de construcción más sencilla, similar al de un motor de motocicleta. Consta de dos cilindros separados en uno se sitúa el desplazador y en otro el pistón de potencia.

El pistón y el desplazador se mueven desfasados 90 grados, lo cual se consigue mediante el cigüeñal adecuado.

Desde el punto de vista termodinámico es menos eficaz que el tipo beta, puesto que la expansión de trabajo se realiza en su totalidad a menor temperatura.”

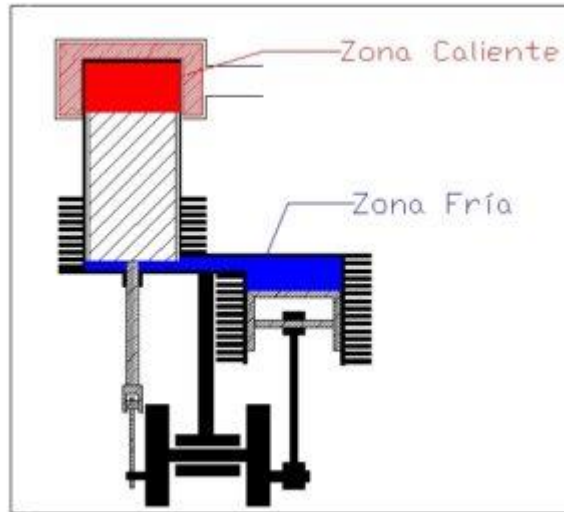


Figura 18 Motor Stirling tipo gamma

Generador de electricidad.

“Un generador de electricidad es la fuente de energía de los sistemas eléctricos y electrónicos; proporciona potencia eléctrica (tensión y corriente). En todos los generadores se realiza una transformación de energía, es decir, se parte de un tipo de energía bien sea mecánica, térmica, química o de cualquier otro tipo, hasta llegar a la eléctrica.”

GENERADORES DE IMANES PERMANENTES

“Un tipo de máquina eléctrica que es utilizada con más frecuencia en aplicaciones de turbinas de viento es el generador de imanes permanentes. Este es ahora el preferido en la mayoría de los pequeños generadores de turbinas eólicas de hasta por lo menos de 10 kilovatios de potencia, y también se pueden utilizar en turbinas de viento más grandes. En estos generadores (figura 3), los imanes permanentes proporcionan el campo magnético, por lo cual no hay la necesidad del uso de devanados de campo o el suministro de corriente a este. Por ejemplo, los imanes se integran directamente en un rotor de aluminio cilíndrico o bien sea otro metal.

La potencia es tomada por una armadura estacionaria, lo cual no hay necesidad de conmutadores, anillos colectores o cepillos.”

Debido a que la construcción de la máquina es tan simple, el generador de imanes permanentes es muy robusto. Los principios de funcionamiento de los generadores de imanes permanentes son similares a los de la máquina síncrona. De hecho, se encuentran frecuentemente referenciados con el nombre de generadores síncronos de imanes permanentes, con las siglas en inglés PMSG (Permanent Magnet Synchronous Generator).

Metodología

1. Primero comenzaremos con el calculo del foco:



Figura 16 Representación gráfica del disco parabólico

Donde:

Foco (F): Punto fijo no perteneciente a la parábola y que se ubica en el eje focal al interior de las ramas de la misma y a una distancia p del vértice

Distancia Focal (p): Magnitud de la distancia entre vértice y foco, así como entre vértice y directriz.

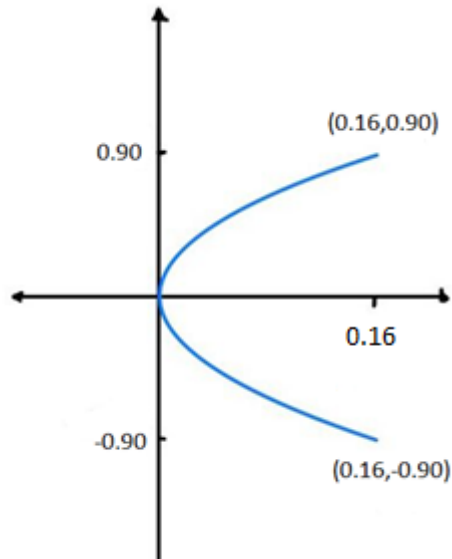


Figura 17 Grafica Parabola y Foco

Y estará definido por la ecuación:

$$y^2 = 4px$$

$$(0.90)^2 = 4p(0.16)$$

$$0.81 = p(0.64) \rightarrow p = \frac{0.81}{0.64} \rightarrow p = 1.265 \text{ m}$$

El foco de nuestro concentrador estará ubicado a 1.265 m del vértice de la parábola o el punto (0,0)

2. Se llenará un área aproximadamente de 1m^2 del concentrador con espejos de $4*5\text{cm}$ y $4*4\text{cm}$
3. Se instalará el motor Stirling en el foco de la parábola junto a un motor de 3V que funcionara como generador.

Resultados del proyecto

- Base del concentrador



Figura 19 Base del concentrador



Figura 18 Disco Parabólico



Figura 21 Soporte motor stirling



Figura 20 Comienzo recubrimiento de espejos



Figura 26 Soporte de motor y espejos terminado



Figura 22 Motor Stirling

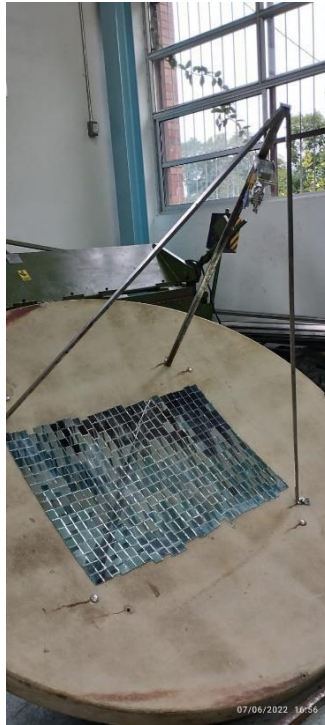


Figura 23 Proyecto Terminado

Conclusiones

- Se alcanzó una temperatura de 120°C
- La mayor problemática identificada fue el enfoque del motor Stirling ya que requiere una mejor optimización del sistema que lo mueve.
- El colector solo se puede usar con radiación directa, sin embargo con las condiciones climáticas de los momentos de prueba, no se alcanzó a llegar a la temperatura ideal de funcionamiento. Se espera que en próximos trabajos se realicen mejoras pertinentes como:
 - Aumento del área cubierta por los espejos
 - Implementar un seguidor solar para mejorar la eficiencia al momento de recibir la radiación solar
 - Mejorar la eficiencia y la producción de energía.

Referencias Bibliográficas

- [1] J. Sáenz, «En penumbras: 2,5 millones de colombianos no tienen energía eléctrica,» *El Espectador*, p. 1, 07 08 2017.
- [2] M. Silva y C. Juan, «Sistema de generación eléctrica a partir del efecto termoeléctrico del sol,» Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Cali, 2016.
- [3] A. Burgos y J. Villalobos, «APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN EL PROCESO DE,» Universidad Libre, Bogotá, 2016.
- [4] E. Zarza Moya, «Generación directa de vapor con colectores solares cilindro parabólicos Proyecto DIrect Solar Steam (DISS),» Universidad de Sevilla, Sevilla, 2003.
- [5] B. L. Emilio, «Prototipo de campo de colectores solares cilindro-parabólicos para generación de calor a alta temperatura,» Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos, España, 2011.
- [6] D. Serrano García, «CÁLCULO, DISEÑO Y ANÁLISIS DE UNA CENTRAL TERMOSOLAR DE COLECTORES CILINDRO-PARABÓLICOS OPERANDO CON SALES FUNDIDAS,» Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, 2012. [7] C. P. R, «et al,» 2006.
- [8] L. Oquendo, «Medición de Emisión de Radiación Solar,» D.A, 2012. [9] F. I. Gaviotas, «Colectores Solares Térmicos,» Fundación las gaviotas, 2014.
- González, P. S. (2017). *Diseño construcción y comparación de la eficiencia de dos colectores solares térmicos de baja temperatura*. Cuenca-Ecuador.
- Willian Carrión Chamba, W. M. (2021). Una revisión de los últimos avances de los colectores solares térmicos aplicados en la industria. *INGENIUS Revista de Ciencias y Tecnología #27*, 60-61-62.