



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
Cuna de héroes, crisol de pensadores

**Universidad Michoacana de
San Nicolás de Hidalgo**



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS

“CENTRAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA TERMOELÉCTRICA- FOTOVOLTAICA”

Que Presenta:

Helder Flores Barriga

Para obtener el Título de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Asesor de Tesis

Dr. Gilberto Gonzales Avalos

Morelia, Mich. Octubre del 2018

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, José Manuel Flores Gallardo y Rocio Barriga Acosta, por su infinito apoyo, por confiar en mí, por sus consejos, porque sin su apoyo no hubiera logrado culminar mi carrera.

A mis hermanos Emanuel, Alexis, Michelle e Israel por siempre apoyarme y creer en mí.

A mis abuelos J. Jesús Barriga medina, Francisca Acosta Gaona, Antonio Flores Pedrisco y Guadalupe Gallardo Gaona, por siempre darme sus consejos y ayudarme a ser una mejor persona.

A mi amada novia Mariela Salgado Gómez, por su confianza, paciencia y sobre todo motivarme siempre a cumplir mis metas.

A mi asesor, el Dr. Gilberto González Avalos por su gran apoyo en la realización del presente proyecto, y por su gran asesoría, gracias por ser un guía a lo largo de mi carrera.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por brindarme un espacio, donde poder realizar mis estudios, por haberme dado la oportunidad de formarme como profesionista, gracias por permitirme ser parte de esta gran institución donde aprendí a ser una mejor persona y enseñarme que con esfuerzos se logran muchas cosas.

A la Facultad de Ingeniería Eléctrica, por haberme permitido desarrollar mis estudios de nivel superior, a lado de grandes profesores y personal administrativo que a lo largo de mi formación académica pusieron los medios para hoy en día concluir con mis estudios.

DEDICATORIAS

Dedicado a mis padres José Manuel y Rocio

INDICE

PORTADA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIAS	iii
INDICE	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	viii
RESUMEN	ix
PALABRAS CLAVES.....	x
ABSTRACT.....	xi
KEYWORDS.....	xii
GLOSARIO	xiii
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 LA ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	1
1.2 OBJETIVO	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4 METODOLOGIA.....	4
1.5 CONTENIDO DE LA TESIS	5
CAPITULO 2 ANTECEDENTES DE CENTRALES ELECTRICAS	6
2.1 INTRODUCCIÓN.....	6
2.2 FUENTES NO RENOVABLES.....	8
2.2.1 Central termoeléctrica.....	8
2.2.2 Central de ciclo combinado.....	10
2.2.3 Central nuclear	11
2.3 FUENTES RENOVABLES	13
2.3.1 Energía solar	13
2.3.2 Energía eólica	14
2.3.3 Energía hidroeléctrica.....	15
2.3.4 Energía Mareomotriz.....	16
2.3.5 Energía Geotérmica.....	17
2.3.6 Biomasa	18
CAPÍTULO 3 DISEÑO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE GRAN POTENCIA.....	20
3.1 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	20

3.2 CELDA SOLAR FOTOVOLTAICA	20
3.3 TIPOS DE CELDAS SOLARES FOTOVOLTAICAS.....	21
3.3.1 Celdas solares de silicio mono-cristalino	21
3.3.2 Celdas solares de silicio multicristalino o policristalino	22
3.3.3 Celdas solares de silicio amorfo.....	23
3.3.4 Celdas solares de multiunión	25
3.4 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	26
3.4.1 Sistemas autónomos	26
3.4.2 Sistemas conectados a la red	28
3.5 CONVERTIDOR DE CORRIENTE DIRECTA A CORRIENTE ALTERNA (CD-CA)	29
3.5.1 Tipos de inversores fotovoltaicos	30
3.5.2 Inversores string o en cadena	30
3.5.3 Microinversores.....	31
3.5.4 Optimizadores de potencia.....	32
3.6 DISEÑO DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE 300 Mw	34
3.6.1 Horas Solar Píco (HSP)	34
3.6.2 Cálculo de paneles solares	36
3.6.3 Calculo de inversores	37
3.6.4 Disposición de paneles solares.....	40
3.6.5 Cálculo de sombras	41
3.6.6 Cálculo de la superficie mínima a utilizar	43
CAPITULO 4 OPERACIÓN DE UNA CENTRAL HÍBRIDA.....	47
4.1-ENERGÍA SOLAR HÍBRIDA.....	47
4.2 CENTRAL TERMOSOLAR	48
4.2.1 Funcionamiento de central termo solar.....	49
4.3- COSTO DEL COMBUSTIBLE	50
4.4 PROPUESTA A UTILIZAR EN LA GENERACION DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	51
4.4.1 Termoeléctrica.....	51
4.4.2 Fotovoltaica.....	56
4.4.3 Termoeléctrica-Fotovoltaica.....	57
4.4.4 Termoeléctrica y etapa de calentamiento- Fotovoltaica	57
4.4.5 Termoeléctrica con una etapa de regeneración y Fotovoltaica.....	62
4.5 OPERACIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO	65

CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
5.1 CONCLUSIONES.....	68
5.2 RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFIA.....	71

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. 1 Central Fotovoltaica	2
--	---

Capítulo 2

Figura 2. 1 Primer Central Eléctrica.....	6
Figura 2. 2 Combustible fósil (Carbón).....	8
Figura 2. 3 Esquema de una Central Termoeléctrica.....	9
Figura 2. 4 Esquema de una Central de Ciclo Combinado.....	11
Figura 2. 5 Esquema de Funcionamiento de una Central Nuclear de Agua a Presión	12
Figura 2. 6 Central Solar.....	13
Figura 2. 7 Parque Eólico en México.....	15
Figura 2. 8 Esquema de una Central Mareomotriz.....	17
Figura 2. 9 Central Geotérmica.....	18
Figura 2. 10 Origen de la Biomasa.....	19

Capítulo 3

Figura 3. 1 Panel fotovoltaico monocristalino	22
Figura 3. 2 Panel solar fotovoltaico poli cristalino	23
Figura 3. 3 Panel solar fotovoltaico tipo amorfo (capa fina)	24
Figura 3. 4 Panel solar fotovoltaico tipo multiunión	25
Figura 3. 5 Sistema fotovoltaico autónomo.	27
Figura 3. 6 Sistema solar fotovoltaico conectado a la red	29
Figura 3. 7 Inversor String marca ABB	31
Figura 3. 8 Microinversor de la marca Enphase de 253 W de salida.....	32
Figura 3. 9 Optimizador de potencia.	33
Figura 3. 10 Panel Solar SolarWorld SW 300 Mono	36
Figura 3. 11 Datos Técnicos Inversor SUNNY CENTRAL 2500-EV	38
Figura 3. 12 Diagrama del ángulo de inclinación de un panel fotovoltaico	40
Figura 3. 13 Posición del sol para el cálculo de la distancia mínima entre paneles fotovoltaicos....	41
Figura 3. 14 Diagrama esquemático de la superficie total del panel fotovoltaico, así como su sombra en el punto más crítico.....	44

Capítulo 4

Figura 4. 1 Esquema de producción de energía solar híbrida.....	47
Figura 4. 2 Central termo-solar.....	48
Figura 4. 3 Elementos de un central termo solar tipo torre.....	50
Figura 4. 4 Ciclo Rankine básico.....	52
Figura 4. 5 Ciclo Rankine con una etapa de recalentamiento.	58
Figura 4. 6 Ciclo Rankine ideal regenerativo con un calentador abierto de agua de alimentación..	62
Figura 4. 7 Factor de utilización de la Central Fotovoltaica	67

LISTA DE TABLAS

Tabla 3. 1 Horas Solar Pico de Petacalco Guerrero.....	35
Tabla 3.2 Especificaciones del panel solar fotovoltaico.....	37

RESUMEN

En el presente trabajo el autor aborda el tema del diseño de una central fotovoltaica. Se hace mención la importancia que tiene hoy en día la energía solar. Se dará una breve reseña de los primeros avances que se tuvieron al implementar el funcionamiento de la primera central eléctrica. Se hablará de manera general sobre los tipos de energías renovables y no renovables, analizando de manera detallada la energía solar fotovoltaica en particular. Con ello se abordarán los cálculos necesarios para el correcto diseño e instalación de la central fotovoltaica de gran potencia. Misma que a su vez será la base fundamental para el presente trabajo. El cual tiene como objetivo la implementación de una central fotovoltaica en conjunto con una central termoeléctrica. La cual se denomina central híbrida. misma que a su vez ayudara a reducir el alto consumo de materiales fósiles que son altamente contaminantes para nuestro ecosistema. Logrando con ello tener un mayor aprovechamiento de los recursos naturales, así como una manera más eficiente y más limpia de obtener la energía eléctrica.

PALABRAS CLAVES

Energía solar, sistema fotovoltaico, panel fotovoltaico, eficiencia, microinversor, constante solar, horas solar pico, monocristalino, multicristalino, policristalino, inversor, potencia del sistema, irradiación solar, fotovoltaica, ciclo Rankine, termosolar, ciclo regenerativo, sistema híbrido.

ABSTRACT

In this work the author will address the issue of the design of a photovoltaic power plant, where mention is made of the importance of solar energy today, starting with a brief review of the first advances that were made in implementing the operation of the First power plant, once these reviews are given, we will talk in a very general way about the different types of renewable and non-renewable energies, analyzing in detail the photovoltaic solar energy in particular. This will address the necessary calculations for the correct design and installation of the high-power photovoltaic power plant, which in turn will be the fundamental basis for the present work, which aims to implement a photovoltaic power plant in conjunction with a thermoelectric power plant, which is called hybrid power plant, which in turn will help reduce the high consumption of fossil materials that are highly polluting for our ecosystem. Achieving with it a greater use of natural resources, as well as a more efficient and cleaner way of obtaining electricity.

KEYWORDS

Solar energy, photovoltaic system, photovoltaic panel, efficiency, microinverter, solar constant, peak solar hours, monocrystalline, multicrystalline, polycrystalline, inverter, system power, solar irradiation, photovoltaic, Rankine cycle, solar thermal, regenerative cycle, hybrid system.

GLOSARIO

BWR	Reactor nuclear de agua en ebullición
°C	Grados Centígrados
FP	Facto de utilización
FV	Fotovoltaico
G _A As	Arseniuro de Galio
GaInP ₂	Fosfuro de indio y galio
Ge	Germanio
HSP	Horas Solar Pico
Kg	Kilogramos
MJ	Mega Joule
MW	Mega Watts
m ²	Metro cuadrado
PWT	Reactor nuclear de agua a presión
SFA	Sistemas fotovoltaicos aislados
SFCR	Sistemas fotovoltaicos conectados a la red
W	Watts
Wp/m ²	Relación potencia-superficie

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 LA ENERGIA FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica. Esta transformación de energía eléctrica se consigue aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores mediante las células fotovoltaicas. El material base para la fabricación de paneles fotovoltaicos suele ser el silicio.

La principal aplicación de una instalación de energía solar fotovoltaica es la producción de energía eléctrica a partir de la radiación solar. Esta producción puede ser a gran escala para el consumo general o de pequeña escala para consumo en viviendas, refugios de montaña o sitios aislados. Principalmente se diferencian dos tipos de instalaciones fotovoltaicas.

- *Sistemas fotovoltaicos conectados a la red:* La energía eléctrica que se produce se utiliza íntegramente para la venta a la red eléctrica de distribución.
- *Sistemas fotovoltaicos aislados de la red:* Se utilizan para autoconsumo que sea para vivienda aislada, estación repetidora de telecomunicación, bombeo de agua para riego. Alumbrado público en determinadas zonas e incluso en desarrollo de automóviles y aviones que funcionan exclusivamente aprovechando la radiación solar como fuente de energía. En la figura 1.1 se muestra una central fotovoltaica.



Figura 1. 1 Central Fotovoltaica [17]

1.2 OBJETIVO

En el presente trabajo se tiene como objetivo analizar un sistema híbrido, donde se utilizarán dos tipos de energías, una de ellas es una central termoeléctrica y la otra una central fotovoltaica.

Para lograr esta investigación se plantearán los siguientes objetivos específicos:

- Análisis técnico y económico de los elementos necesarios para la conformación de un sistema de generación fotovoltaico de 300MW. Con conexión a la red eléctrica.
- Comportamiento real del sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica
- Implementar un sistema de generación híbrido, donde de acuerdo a las horas solar pico (HSP), se estudiará cual es la mejor opción para trabajar en este periodo de tiempo donde existe irradiación solar, teniendo como opción las siguientes propuestas
- Funcionamiento de la central fotovoltaica
- Funcionamiento de la central fotovoltaica-termoeléctrica.

Esto con la finalidad de poder demostrar cuál de los dos sistemas funcionaria mejor para este periodo de tiempo donde se tiene la mayor incidencia de irradiación solar.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Con la presente demanda de energía eléctrica en el mundo, el uso de energías no renovables ha traído consigo un fuerte problema para el planeta lo cual ha ocasionado que se busquen alternativas para satisfacer las necesidades de los millones de usuarios que utilizamos energía eléctrica.

En la actualidad, se han buscado diferentes fuentes de energía que permitan satisfacer la demanda de energía eléctrica que suministran las centrales de generación ya existentes, mediante el uso de energías renovables.

La energía fotovoltaica ha sido una de las energías a las que más se ha recurrido, ya que este tipo de energía es de gran utilidad no sólo en la producción de energía eléctrica a baja potencia, sino también en el sector agrícola en los sistemas de riego.

Con la realización de este proyecto se busca reducir en gran cantidad el uso de combustibles fósiles. Como es el uso de petróleo, carbón y con ello reducir en gran parte la contaminación en el planeta.

La propuesta de diseñar una central fotovoltaica de gran potencia es para poder generar la misma cantidad de energía que genera una central termoeléctrica, con ello se busca aprovechar el mayor tiempo posible que existe irradiación solar durante el día.

Es por eso que al utilizar un sistema híbrido se obtienen los siguientes beneficios: menor contaminación ambiental, menor uso de combustibles fósiles que puedan dañar aún más nuestro planeta, el aprovechamiento de la irradiación solar para la generación de energía eléctrica de una manera más limpia.

1.4 METODOLOGIA

- Se realizará una revisión bibliográfica de lo que es la energía fotovoltaica en general, así como el objetivo y la justificación del proyecto
- Se describirán de manera clara y concisa los diferentes tipos de centrales eléctricas, describiéndose de manera general el funcionamiento de cada una de ellas.
- Se presentará una breve explicación de los elementos que conforman un sistema solar fotovoltaico, mayormente en los sistemas conectados a la red.
- Se describirán cada uno de los elementos mencionados anteriormente, analizando de manera detallada el funcionamiento de cada uno de ellos.
- Se presentará la propuesta para el diseño de la central fotovoltaica de 300 Mw de potencia, utilizando los elementos necesarios para su correcto funcionamiento.
- Se describirá de forma muy breve el funcionamiento de las centrales híbridas.
- Se presentarán dos propuestas a analizar, en las cuales se evaluará cuál de las dos propuestas resulta más factible para lograr el máximo aprovechamiento de los sistemas solares fotovoltaicos.
- Se analizarán los costos de combustible sin proyecto y a su vez con proyecto, esto con la finalidad de ver el beneficio que resulta utilizar los sistemas híbridos hoy en día.
- Se presentarán conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del presente proyecto.

1.5 CONTENIDO DE LA TESIS

En el presente proyecto se presenta la propuesta de implementar un sistema híbrido utilizando dos tipos de energía, una es la energía térmica y otra es la energía solar.

En el capítulo 1, se presenta una breve introducción a este trabajo, se muestra la descripción de lo que es la energía solar fotovoltaica en la actualidad, así como el objetivo de este proyecto, una justificación de porque se propone utilizar este tipo de centrales, metodología a utilizar para llevar a cabo el proyecto y un breve resumen de lo que contiene la tesis.

En el capítulo 2 se presentan antecedentes de las centrales eléctricas, se hará mención de manera muy general el funcionamiento de los diferentes tipos de fuentes de energía no renovables y a su vez los diferentes tipos de fuentes de energías renovables.

En el capítulo 3 se presenta el diseño de una central fotovoltaica donde se obtienen los cálculos necesarios para generar la misma cantidad de energía eléctrica que genera una central termoeléctrica, ubicación del proyecto, costo de materiales y costo total de obra para su correcta instalación.

En el capítulo 4 se presenta la operación híbrida de la central fotovoltaica-termoeléctrica, donde se determina el funcionamiento del sistema híbrido, se presentan dos opciones: funcionamiento como central fotovoltaica o que funcione como central fotovoltaica-termoeléctrica. Se abordan también el costo del combustible una vez implementada la central híbrida.

En el capítulo 5 se presentan conclusiones generales y recomendaciones.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES DE CENTRALES ELECTRICAS

2.1 INTRODUCCIÓN

La industria de la energía eléctrica nace con el descubrimiento de la primera lámpara incandescente práctica que debemos a Thomas A. Edison en 1879. La primera central eléctrica moderna apareció en el año de 1882. A las 3 de la tarde del 4 de septiembre de 1882, Thomas Alva Edison se embarcó en lo que llamo “la aventura más grande de mi vida”. Puso en funcionamiento la primera central eléctrica de la historia en Nueva York, en la calle Pearl, con 85 hogares, tiendas y oficinas se iluminaron súbitamente con 400 bombillas incandescentes. Edison y sus colegas, directores de la Edison Electric Light Company se habían reunido en Wall Street en la oficina de uno de sus principales patrocinadores. A las 7 de la noche la luz eléctrica hizo su impacto en las cercanas oficinas del diario The New York Times. Iniciando así la era moderna de la electricidad [1]. En la figura 2.1 se muestra la primera central eléctrica que se puso en funcionamiento.

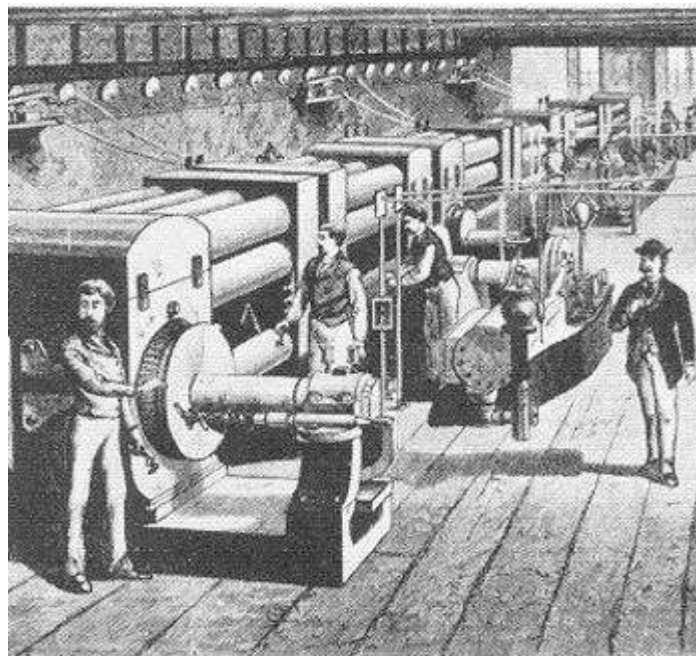


Figura 2. 1 Primer Central Eléctrica [18]

[2]. Aunque la estación sólo atendía inicialmente a 59 consumidores sobre una superficie de una milla cuadrada, constituyó la primera aplicación a gran escala de la electricidad al servicio público y señaló el nacimiento de la moderna industria de fuerza y alumbrado eléctrico.

La primera central hidroeléctrica basada en el sistema de Edison, entro en funcionamiento en Appleton, Wisconsin el (30 de septiembre de 1882).

Durante los primeros años todas las centrales generaron corriente continua la cual tenía la desventaja de pérdidas relativamente grandes de potencia al ser transmitida a larga distancia. Para el año de 1886 comenzó a funcionar la primera central norteamericana que utilizaba corriente alterna (C.A.) en Great Barrington (Massachusetts). El empleo de C.A. permitió aumentar la potencia de la electricidad para su transmisión a grandes distancias y posteriormente a la tensión deseada en subestaciones o transformadores. Con lo que las pérdidas por envío se redujeron al mínimo. De no ser por este procedimiento la transmisión y distribución de energía eléctrica jamás hubiera presentado el enorme incremento que adquirió posteriormente. Para la última década del siglo XIX la corriente continua representaba el 90 % de la capacidad generadora de las centrales eléctricas, en 1902 había descendido al 39% y en 1907 al 18%. Para el año 1956 apenas y era el 1% de la capacidad generadora.

El motor de inducción descubierto en 1888 por Nikola Tesla permitió transformar de modo conveniente y eficaz la corriente alterna en potencia mecánica y abrió el camino al empleo de la electricidad como fuente de energía para las maquinas industriales. La electricidad que hasta 1900 se limitó a suministrar potencia para el alumbrado, comenzaba ya a impulsar motores, producir energía térmica y realizar múltiples funciones en los procesos industriales [2].

2.2 FUENTES NO RENOVABLES

Las energías no renovables son los métodos de obtención de energía mediante una fuente de energía agotable. Son las que consumen algún tipo de combustible (petróleo, carbón, uranio).

Las fuentes de energía no renovables convencionales. Se trata de los combustibles fósiles. El carbón, el petróleo y el gas natural y las reacciones químicas entre determinados materiales (baterías).

Las fuentes de energía no convencionales. Estas fuentes provienen de los agrocombustibles biocombustibles o combustibles cultivados y los combustibles nucleares (uranio y plutonio) utilizados en las centrales de energía nuclear. En la figura 2.2 se muestra uno de los principales combustibles fósiles utilizados para la generación de energía eléctrica como lo es el carbón [3].



Figura 2. 2 Combustible fósil (Carbón) [19]

2.2.1 Central termoeléctrica

La fuente de energía disponible es un combustible (combustible pesado, gas, carbón, etc.) la energía se encuentra almacenada en el combustible según su composición química y se libera haciendo que se produzca reacción química que en este caso es la combustión.

Este tipo de centrales utilizan la combustión de estos elementos para producir el movimiento de una turbina acoplada a un alternador y en consecuencia producir energía eléctrica [4].

La energía química del combustible se transforma en calor (energía calorífica) en la flama y los gases calientes productos de la combustión. La combustión se realiza en el hogar de un generador de vapor. Si la energía calorífica de los gases se emplea para calentar agua y producir vapor ya que se tiene otra transformación de energía, tendremos así vapor con energía que se llamara térmica.

La energía del vapor se transforma en trabajo mecánico en una turbina de vapor con lo que se tiene otra transformación de energía. Finalmente, si la turbina está acoplada a un generador eléctrico, se tiene la última transformación de energía y se llega al objetivo; se produce la energía eléctrica.

Equipo principal de una termoeléctrica es:

- a) Generador de vapor
- b) Turbina y condensador
- c) Generador eléctrico

En la figura 2.3 se muestra el esquema de una central termoeléctrica.

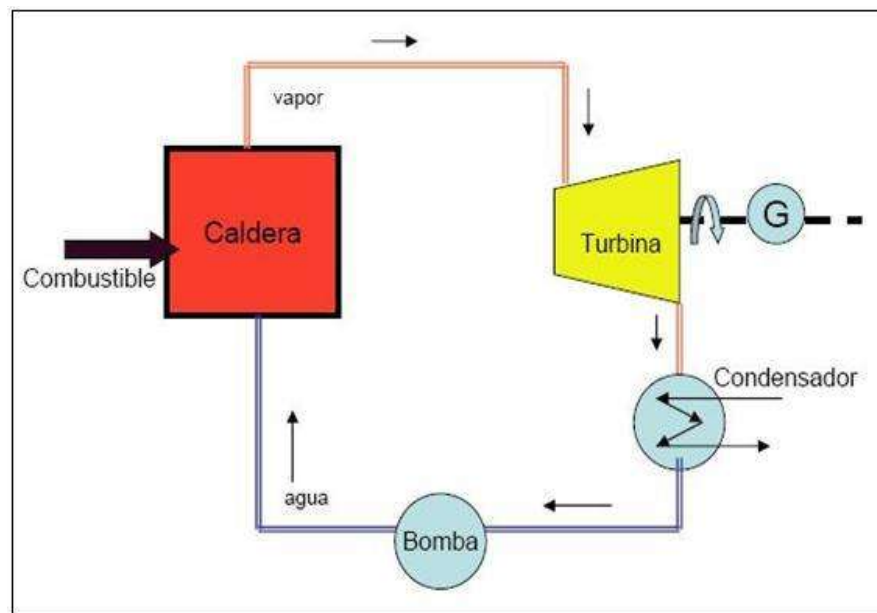


Figura 2. 3 Esquema de una Central Termoeléctrica [20]

Al resto del equipo que participa directa o indirectamente en la producción de energía eléctrica en una termoeléctrica se le clasifica como equipo auxiliar, existe una gran variedad de equipo auxiliar entre los que citan [5].

Equipo auxiliar de una central termoeléctrica es:

- Bomba
- Ventiladores
- Extractores
- Calentadores
- Compresores
- Eyectores
- Tanque
- Enfriadores

2.2.2 Central de ciclo combinado

Es aquella donde se genera electricidad mediante la utilización conjunta de dos turbinas. Es decir, para la transformación de la energía del combustible en electricidad se suponen dos ciclos.

El ciclo Brayton (turbina de gas). - toma el aire directamente de la atmosfera y se somete a un calentamiento y compresión para aprovecharlo como energía mecánica o eléctrica.

El ciclo Rankine (turbina de vapor). - donde se relaciona el consumo de calor con la producción de trabajo o creación de energía a partir de vapor de agua.

Las centrales de ciclo combinado funcionan de la siguiente manera: en primer lugar, el aire es comprimido a alta presión en el compresor, pasando a la cámara de combustión donde se mezcla con el combustible. Después los gases de combustión pasan por la turbina de gas donde se expansionan y su energía calorífica se transforma en energía mecánica, transmitiendo al eje.

Los gases salen de la turbina de gas se llevan a una caldera de recuperación de calor para producir vapor, a partir de este momento tenemos un ciclo de agua-vapor convencional. A la salida de la turbina el vapor se condensa (transformándose nuevamente en agua) y vuelve a la caldera para empezar un nuevo ciclo de producción de vapor. Actualmente la tendencia es acoplar la turbina de gas y la turbina de vapor a un mismo eje, de manera que accionan conjuntamente un mismo generador eléctrico [6]. En la figura 2.4 se muestra el esquema de funcionamiento de una central de ciclo combinado.

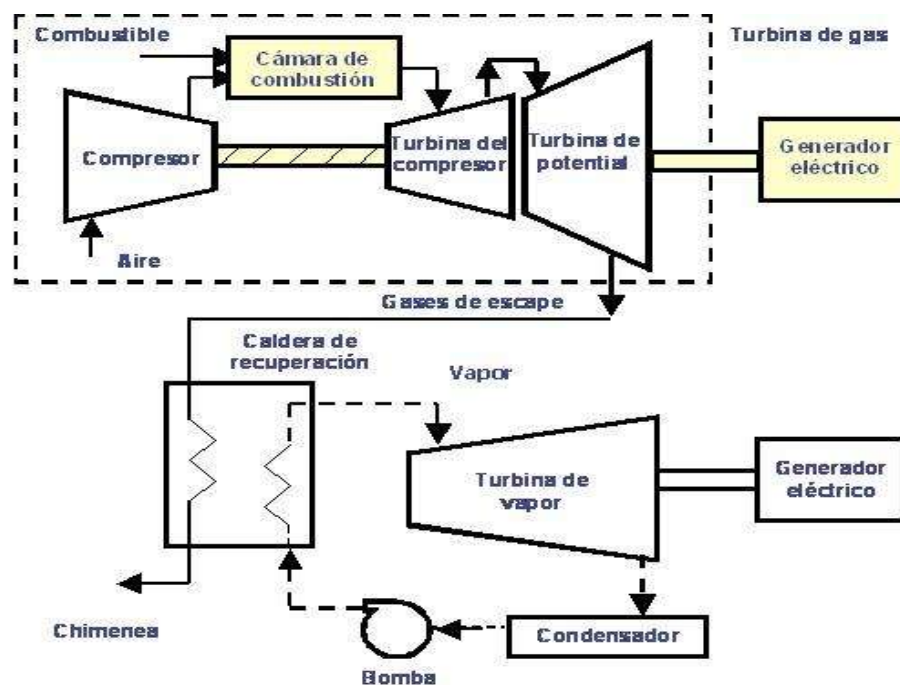


Figura 2.4 Esquema de una Central de Ciclo Combinado [21]

2.2.3 Central nuclear

Todas las centrales nucleares utilizan la fisión nuclear ya que la fisión nuclear actualmente es inviable a pesar de estar en proceso de desarrollo.

El funcionamiento de una central nuclear es idéntico al de una central térmica que funcione con carbón, petróleo o gas excepto en la forma de proporcionar energía calorífica (calor) en el agua para convertirla en vapor.

En el caso de los reactores nucleares este calor se obtiene mediante las reacciones nucleares de fisión nuclear de los átomos del combustible nuclear, mientras que en las otras centrales térmicas se obtiene energía térmica mediante la quema de uno o varios combustibles fósiles.

De todos los tipos de reactores nucleares destacan dos: el reactor nuclear de agua a presión (PWT) y el reactor nuclear de agua en ebullición (BWR). El reactor de agua a presión es el más utilizado en el mundo

- Obtención de energía térmica mediante la fisión nuclear del núcleo de los átomos (núcleo atómico) del combustible nuclear.
- Generar vapor de agua mediante la energía térmica obtenida anteriormente en el generador de calor.
- Accionar un conjunto de turbinas mediante el vapor de agua obtenido.
- Aprovechar la energía mecánica de las turbinas para accionar un generador eléctrico. Este generador eléctrico generará electricidad. En la figura 2.5 se muestra el esquema de funcionamiento de una central nuclear de agua a presión [7].

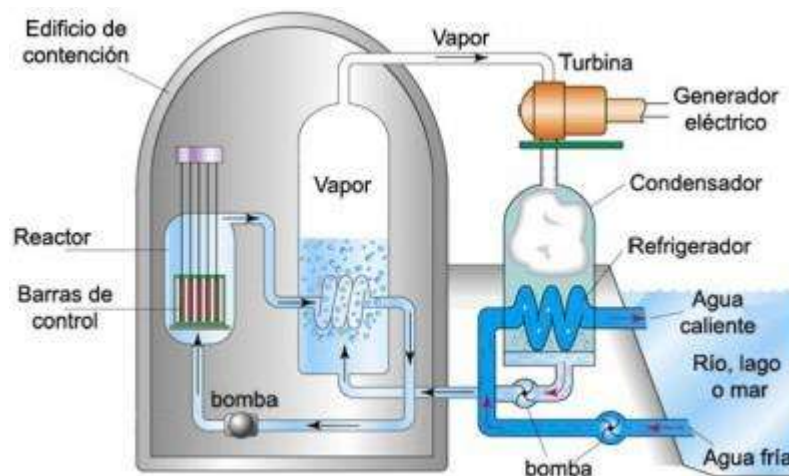


Figura 2.5 Esquema de Funcionamiento de una Central Nuclear de Agua a Presión [22]

2.3 FUENTES RENOVABLES

Las energías renovables son aquellas energías que provienen de recursos naturales que no se agotan y a los que se puede recurrir de manera permanente. Su impacto ambiental es nulo en la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂. Se consideran energías renovables, la energía solar, energía eólica, energía geotérmica, energía hidráulica, energía mareomotriz y la biomasa [8].

2.3.1 Energía solar

La energía solar es una fuente de energía renovable que se obtiene del sol y con la que se puede generar calor y electricidad. Existen varias maneras de recoger y aprovechar los rayos del sol para generar energía eléctrica que da lugar a los distintos tipos de energía solar [9].

La fotovoltaica. - consiste en la transformación directa de la energía luminosa en energía eléctrica. Se utilizan para ellos unas placas solares formadas por células fotovoltaicas (de silicio o de germanio).

La fototérmica. - consiste en transformar la energía solar en energía térmica almacenada en un fluido. Para calentar el líquido se emplean unos dispositivos llamados colectores. En la figura 2.6 se muestra una central solar [10].



Figura 2. 6 Central Solar [23]

2.3.2 Energía eólica

La energía eólica se aprovecha fundamentalmente mediante su transformación en electricidad a través de los aerogeneradores. Un aerogenerador eléctrico es, por tanto, una máquina que convierte la energía cinética del viento (masa a una cierta velocidad) en energía eléctrica. Para ello utiliza unas palas que conforman una “hélice”, y que transmiten la energía del viento al rotor de un generador.

Generalmente, se agrupan en un mismo emplazamiento varios aerogeneradores, dando lugar a los llamados parques eólicos, que puede verse en la cima de numerosas montañas del país. Existe una gran cantidad de modelos de aerogeneradores, si bien pueden agruparse en dos grandes conjuntos: los de eje vertical y los de eje horizontal.

El aerogenerador de eje horizontal funciona de la siguiente manera:

- Sobre una torre soporte se coloca una góndola que aloja en su interior un generador el cual está conectado, mediante una multiplicadora, a un conjunto de palas.
- La energía producida por el giro del aerogenerador es transportada mediante cables conductores a un centro de control desde donde, una vez elevada la tensión por los transformadores es enviada a la red general mediante las líneas de transporte de alta tensión.
- Debido al carácter aleatorio de la producción de energía eléctrica por vía eólica, las centrales de este tipo deben disponer de una fuente auxiliar para tener garantizado en todo momento el suministro de energía eléctrica. Debido a la altura en la que se encuentra el generador y al rozamiento que el aire produce sobre este es conveniente que el equipo tenga una toma a tierra para evitar la electricidad estática. Así mismo para el control de la velocidad del generador existen tecnologías que permiten regular, dentro de unos límites, las revoluciones de las palas, independientemente de la velocidad del viento [12]. En la figura 2.7 se muestra uno de los parques eólicos instalados en México.



Figura 2. 7 Parque Eólico en México [24]

2.3.3 Energía hidroeléctrica

Las centrales hidroeléctricas producen energía eléctrica a partir de la energía potencial o gravitatoria (masa a una cierta altura) contenida en el agua de los ríos mediante turbinas hidráulicas acopladas a generadores eléctricos.

Tomando como ejemplo un emplazamiento de una central eléctrica al pie de presa funciona de la siguiente manera:

La presa acumula artificialmente un volumen de agua para formar un embalse lo que permite que el agua adquiera una energía potencial que luego se transforma en electricidad. Para ello se sitúa en el parámetro aguas arriba de la presa o en sus proximidades una toma de agua protegida por una rejilla metálica con una válvula que permite controlar la entrada de agua a la galería de presión, previa a una tubería forzada que conduce finalmente el agua hasta la turbina situada en la sala de máquinas de la central.

El agua a presión de la tubería forzada va transformando su energía potencial en cinética, es decir va perdiendo altura y adquiriendo velocidad. Al llegar a las máquinas actúa sobre los alabes de la turbina hidráulica

transformando su energía cinética en energía mecánica de rotación. El eje de la turbina es unido al del generador eléctrico que al girar convierte la energía rotatoria en corriente alterna de media tensión y alta intensidad mediante transformadores, es convertida en corriente de baja intensidad y alta tensión, para ser enviada a la red generalmente mediante las líneas de transporte. Una vez que ha cedido su energía, el agua es resituada al río, corriente debajo de la central, a través del canal de desagüe [13].

2.3.4 Energía Mareomotriz

Las mareas de los océanos constituyen una fuente gratuita, limpia e inagotable de energía. Las principales fuentes para aprovechar la energía del mar son: Energía de las mareas, energía de las olas, energía térmica de los océanos.

Como hemos visto las mareas producen la atracción gravitatoria que ejerce la luna sobre los mares. En consecuencia, durante el día se producen altos y bajos niveles de los mares en las distintas zonas costeras. La energía mareomotriz aprovecha estas diferencias, para interponer elementos móviles, que el agua al pasar por ellos. Pueden hacer girar aspas que conectan a generadores y así producir energía eléctrica. El funcionamiento de este tipo de central de generación de energía eléctrica se enuncia en los siguientes puntos:

- Al subir la marea las compuertas se abren ingresando el agua de mar al embalse.
- En el momento que el agua llega al nivel máximo del embalse, se cierran las compuertas.
- Se produce marea baja y el nivel al lado contrario del embalse desciende.
- Al producirse la máxima diferencia entre el embalse y el nivel del mar, se abren las compuertas de las turbinas para que el agua pase a través de ellas generando electricidad.

- Como una disposición de este tipo proporciona energía solo durante 3 horas dos veces al día, se han dispuesto diversas variaciones de este esquema como medio de generar potencia más continua. En la figura 2.8 se muestra el esquema de una central mareomotriz [14].

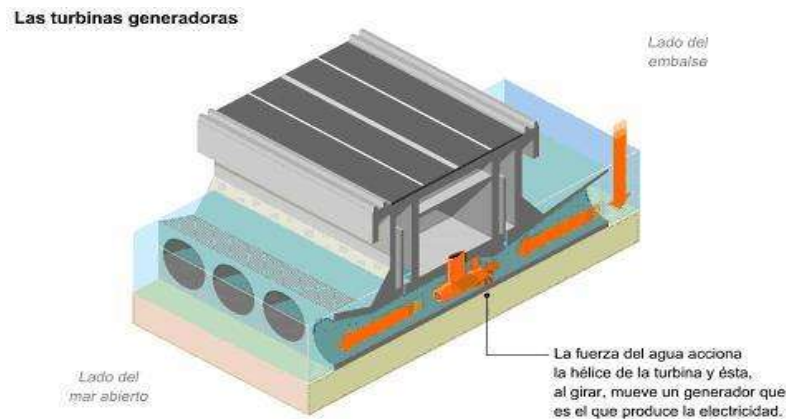


Figura 2.8 Esquema de una Central Mareomotriz [25]

2.3.5 Energía Geotérmica

Es un tipo de energía renovable que se obtiene aprovechando el calor que existe en el interior de la tierra. En el interior de la tierra el núcleo es una masa incandescente que irradia calor desde el interior hacia el exterior, motivo por el cual según profundicemos en la tierra la temperatura ira aumentando en una progresión de 2 a 4 °C de temperatura por cada 100 metros.

El interior de la tierra está formado por distintas capas, alcanza la profundidad suficiente y el agua se calienta, esta experimenta un cambio de estado pasando a vapor de agua que saldrá a fuerte presión hacia la superficie, bien en forma de chorro o fuentes termales.

El potencial de producción de energía geotérmica (60 mW/m^2) es bastante inferior a la del sol (340 W/m^2 , aproximadamente) sin embargo este potencial asciende en algunos lugares a 200 mW/m^2 y crea una acumulación de calor en los acuíferos que puede ser explotado industrialmente. El ritmo de explotación es siempre a la contribución del flujo de calor y se debe tener

cuidado de no densificar demasiado las zonas de explotación que llevarían decenas o centenas de años para recuperarse. La energía geotérmica a baja temperatura (50 a 100 °C) se utiliza principalmente para la calefacción, a través de redes de calor y de manera más marginal para la calefacción de invernaderos o para la acuicultura. En la figura 2.9 se muestra una central geotérmica [15].

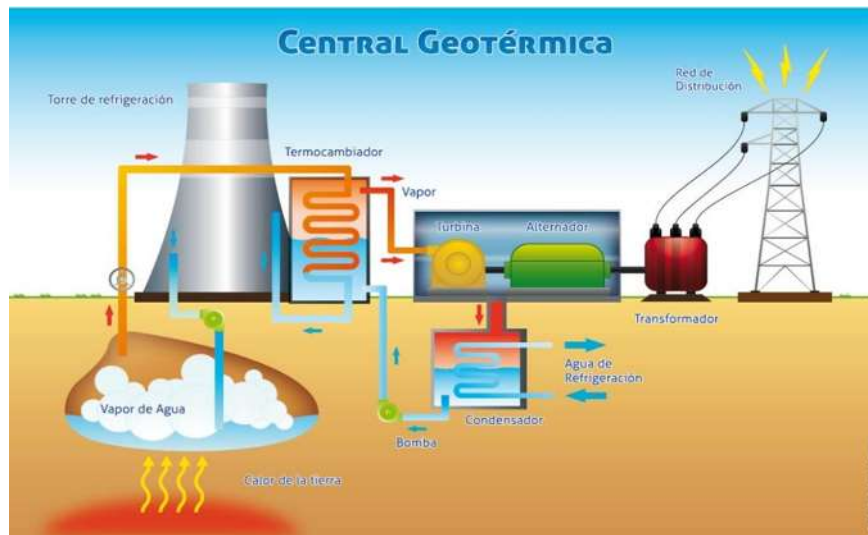


Figura 2. 9 Central Geotérmica [26]

2.3.6 Biomasa

La biomasa está formada por un conjunto de organismos vivos que existen sobre los continentes y en los océanos, pueden ser microorganismos, plantas o animales. Sin embargo, el uso de la energía de biomasa se basa, principalmente en las plantas y en los árboles. La energía de la biomasa deriva del material vegetal y animal tal como madera de bosques, residuos de procesos agrícolas y forestales, y de la basura industrial, humana o animales.

El valor energético de la biomasa de materia vegetal proviene originalmente de la energía solar a través del proceso conocido como fotosíntesis. La energía química que se almacena en plantas y animales (que a

su vez se alimentan de plantas u otros animales) o en los desechos que producen, se llama bioenergía.

De todas las fuentes renovables de energía, la biomasa se diferencia en que almacena energía solar con eficiencia. Además, es la única fuente renovable de carbón, y puede ser procesada convenientemente en combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. La biomasa puede utilizarse directamente (por ejemplo, combustión de madera para la calefacción y cocinar) o indirectamente convirtiéndola en un combustible líquido o gaseoso (por ejemplo, etanol a partir de cosechas de azúcar o biogás de la basura animal). La energía neta disponible en la biomasa por combustión es de alrededor de 8MJ/Kg para la madera verde, 20MJ/Kg para la materia vegetal seca en horno, 55 MJ/Kg para el metano, en comparación con cerca de 23 a 30 MJ/Kg para el carbón. En la figura 2.10 se muestra el origen de la biomasa [16].

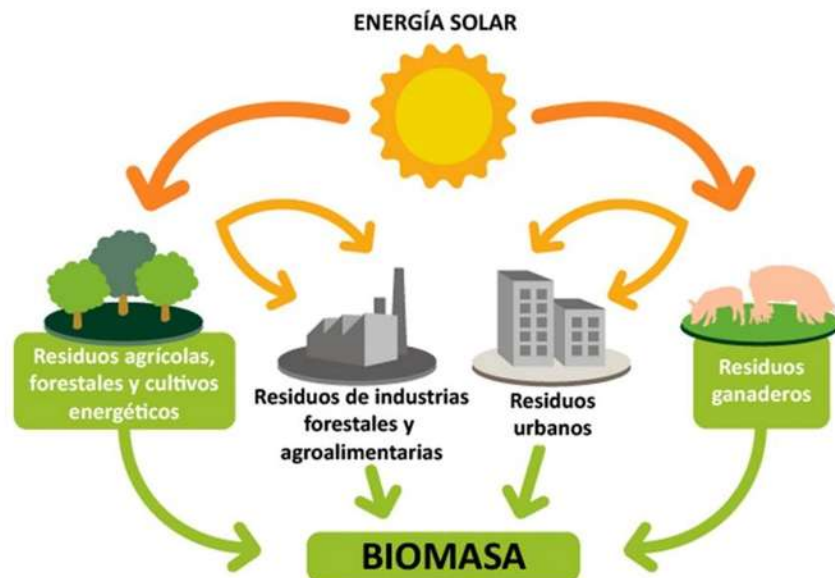


Figura 2. 10 Origen de la Biomasa [27]

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE GRAN POTENCIA

3.1 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Es un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que ocurren para captar energía solar disponible y transformarla en energía eléctrica. Está compuesto por celdas fotovoltaicas que son dispositivos capaces de convertir la energía luminosa en electricidad. Debido a que la fuente de luz es el sol, se les llama células solares [28].

3.2 CELDA SOLAR FOTOVOLTAICA

Una celda fotoeléctrica, también llamada célula, fotocélula o celda fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotoeléctrico. En la actualidad el material fotosensible más utilizado es el silicio, que produce corrientes eléctricas mayores. Hoy se utilizan diferentes tecnologías en la producción de celdas fotovoltaicas con el fin de aumentar su producción y reducir el costo.

Al grupo de células fotoeléctricas o celdas fotovoltaicas se le conoce como panel fotovoltaico. Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado (usualmente se utilizan 12v a 36v) a la vez que se conectan varias redes como circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo.

La eficiencia de conversión media obtenida por las células disponibles comercialmente (producidas a partir de silicio monocristalino) es alrededor del 16%. La vida útil media a máximo rendimiento se sitúa entorno a los 25 años, periodo a partir del cual la potencia entregada disminuye. El tipo de corriente que proporciona es corriente continua, por lo que si necesitamos corriente alterna o aumentar su tensión, tendremos que tener un inversor y/o un convertidor de potencia [29].

3.3 TIPOS DE CELDAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Tradicionalmente estaban definidos tres tipos de paneles dependiendo de la forma de procesar el silicio: mono-cristalinos, poli-cristalinos y amorfos. Hoy día nuevas tecnologías en la producción de los paneles están revolucionando la generación eléctrica fotovoltaica [29].

3.3.1 Celdas solares de silicio mono-cristalino

Este tipo de célula tiene una estructura cristalina ordenada, con cada átomo idealmente situado en una posición preordenada y muestra un comportamiento predecible y uniforme. El silicio pasa a través de varios ciclos de filtración intensiva lenta con la energía y los procesos de separación y por lo tanto es el tipo más costoso de silicio.

Estas células normalmente se crean en una forma circular o un “cuadrado” sin esquinas. Esto porque, cuando se cultivan a partir de un lingote, la única manera de crear estructuras cristalinas de alta pureza es extruido del líquido fundido y la gravedad hace el resto, con respecto a la creación de un bloque cilíndrico de donde las células más pequeñas se cortan. Por lo general, los fabricantes dejan las células en una forma circular, sin embargo, debido a los avances en el reciclaje, las células están cortadas en cuadros sin esquinas para maximizar la densidad del empaquetamiento de los módulos [30].

Las ventajas que tiene este tipo de células son: buen rendimiento de 14% a 16.5%, buena relación potencia-superficie Wp/m^2 lo que ahorra espacio en caso necesario y número elevado de fabricantes. En la figura 3.1 se muestra un panel solar fotovoltaico tipo mono cristalino [31].

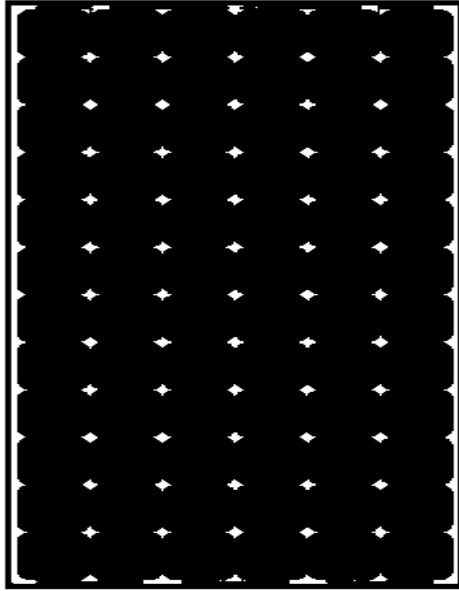


Figura 3. 1 Panel fotovoltaico monocristalino [37]

3.3.2 Celdas solares de silicio multicristalino o policristalino

Este tipo de celda contiene varias regiones de silicio cristalino que se mantienen juntos a través de un enlace covalente y separados por límites de grano. El silicio se pasa a través de un menor número de ciclos de filtración intensiva de energía que los procesos de separación de células monocristalinas y por lo tanto son un material menos costoso para los fabricantes.

Estas celdas son fabricadas en una forma cuadrada. Esto es debido a que el líquido fundido en los lingotes (cuadrado) no es para ser extruido o ir a través de otro proceso, sino para producir un bloque de silicio fuera de los cuales las pequeñas células son cortadas. (Las uniones entre los granos tienen un efecto interesante en la eficiencia de la celda solar [30].

Una de las ventajas al utilizar este tipo de celdas es que al ser las células cuadradas (con bordes redondeados en el caso de Si mono-cristalino) que permite un mejor funcionamiento en un módulo. Eficiencia de conversión óptima, alrededor de los 100 Wp/m², pero un poco menor que en el mono-cristalino, lingote más barato de producir que el mono-cristalino [31]. En la figura 3.2 se muestra un panel solar fotovoltaico tipo poli-cristalino.



Figura 3. 2 Panel solar fotovoltaico poli cristalino [38]

3.3.3 Celdas solares de silicio amorfo

Estas son manufacturadas mediante la colocación de una fina capa de amorfo (no cristalino) de silicio sobre una amplia variedad de superficies. Estos son los menos eficientes y menos costosos de producir de los tres tipos. Debido a la naturaleza amorfa de la capa fina, es flexible y si se fabrica sobre una superficie flexible, el panel solar entero puede ser flexible.

Una característica de las celdas solares amorfa es que su potencia se reduce con el tiempo, especialmente durante los primeros meses, después de los cuales son básicamente estable [32].

Las células fotovoltaicas de silicio amorfo tienen sin embargo una ventaja en relación a otro tipo de células fotovoltaicas. Estas absorben más la radiación solar, pudiendo producir mayor energía a través del efecto fotovoltaico. Si tomamos que el rendimiento de los paneles solares normales es de un 10%, podríamos decir comparativamente que con las células fotovoltaicas de silicio amorfo podríamos llegar a aproximadamente a un 18%. Aunque esta cifra pueda parecer pequeña, esto es realmente un gran avance en el diseño de placas fotovoltaicas, las cuales tienen tanto conflicto a nivel de la eficiencia.

Otra ventaja importante de este tipo de sistema es la reducción del espacio. Las láminas de silicio amorfo son realmente muy delgadas, y si encontramos un sustrato sobre el cual aplicarlas que resulta cómodo podremos llegar a obtener un panel solar realmente versátil. Por otro lado, con este sistema el peso de los paneles se reducirá de sobremanera [33]. En la figura 3.3 se muestra un panel solar fotovoltaico del tipo amorfo (capa fina).



Figura 3. 3 Panel solar fotovoltaico tipo amorfo (capa fina) [39]

3.3.4 Celdas solares de multiunión

Estas células tienen una alta eficiencia y han sido desarrolladas para aplicaciones espaciales. Las células multiunión están compuestas de varias capas delgadas usando la epitaxia por haz molecular.

Una célula de triple unión, por ejemplo, se compone de semiconductores GaAs, Ge y GaInP₂. Cada tipo de semiconductores se caracteriza por un máximo de longitud de onda más allá del cual no es capaz de convertir los fotones en energía eléctrica (ver banda prohibida). Por otro lado, por debajo de esta longitud de onda, el exceso de energía transportada por el fotón se pierde.

De ahí el valor de la selección de materiales con longitudes de onda tan cerca el uno al otro como sea posible, de forma que absorban la mayoría del espectro solar, generando un máximo de electricidad a partir del flujo solar. El uso de materiales compuestos de cajas cuánticas permitirá llegar al 65% en el futuro (con un máximo teórico de 87%).

Los dispositivos de células de uniones múltiples GaAs son más eficaces. Spectrolab ha logrado el 40.7% de eficiencia (diciembre de 2006) un consorcio (liberado por investigadores de la universidad de Delaware) ha obtenido un rendimiento de 42.86% (septiembre 2007). El coste de estas células es de aproximadamente USD 40 \$/cm². En la figura 3.5 se muestra un panel solar fotovoltaico tipo multiunión [32]. En la figura 3.4 se muestra un panel solar fotovoltaico tipo multiunión.



Figura 3. 4 Panel solar fotovoltaico tipo multiunión [40]

3.4 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La tecnología solar fotovoltaica (FV) consiste en la conversión directa de la radiación del sol en electricidad. Esta conversión se realiza a través de la célula solar, unidad básica en la que se produce el efecto fotovoltaico.

La energía solar fotovoltaica está indicada por un amplio abanico de aplicaciones donde se necesite generar electricidad, bien para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos que no disponen de la red eléctrica (sistemas fotovoltaicos autónomos) o bien para generar energía a la red eléctrica (sistemas conectados a la red).

Se pueden clasificar los sistemas fotovoltaicos en función de si están o no conectados a la red eléctrica convencional. Sistemas fotovoltaicos autónomos y sistemas fotovoltaicos conectados a la red [34].

3.4.1 Sistemas autónomos

Los sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA) están constituidos, en lo fundamental, por los paneles fotovoltaicos, que constituyen el generador de energía eléctrica, las baterías para almacenar la energía y utilizarla en los momentos de ausencia de la radiación solar, y la carga eléctrica que se va a consumir mediante equipos eléctricos domésticos y/o industriales.

Los SFA son usados frecuentemente en locaciones aisladas para producir electricidad en áreas inaccesibles para la red de potencia eléctrica y de esa forma mejorar las condiciones de salud, educación, comunicación y recreación de la población, al tiempo que favorece la agricultura y el abastecimiento de agua. Los más simples SFA usan la electricidad en forma de corriente continua y la energía es producida donde y cuando es necesaria, sin necesidad de complejos sistemas de control y transmisión de energía. Sistemas de alrededor de 500 W pesan menos de 70Kg, lo que permite una fácil transportación e instalación.

El almacenamiento de la energía eléctrica convierte a los SFA en una fuente fiable de energía, ya sea de día o de noche, independientemente de las condiciones climáticas, luminarias, sensores, tv, equipos de audio, herramientas, etc. Pueden ser usados con los SFA añadiéndoles baterías para el almacenamiento de energía. De esta forma se genera energía por el día y se almacena el excedente en las baterías para su uso en la noche.

El número de baterías debe estar en correspondencia con el consumo energético de la carga y el número de horas de autonomía (ausencia de radiación solar) al cual se aspira.

El uso de los SFA conlleva la necesaria optimización del consumo energético de las cargas. Por ejemplo, se deberá utilizar luminarias eficientes cuya relación entre lúmenes/watt sea la óptima. Los usuarios deben tener, por lo tanto, una cultura mínima del consumo energético, teniendo en cuenta las posibilidades del sistema [35]. En la figura 3.5 se muestra un sistema solar fotovoltaico autónomo.

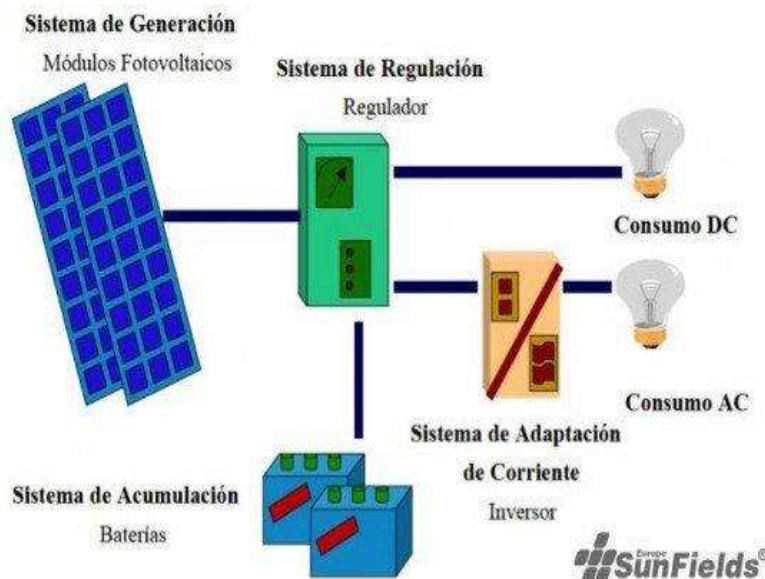


Figura 3.5 Sistema fotovoltaico autónomo. [41]

3.4.2 Sistemas conectados a la red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (SFCR) constituyen una de las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica que más atención están recibiendo en los últimos años, dado su elevado potencial de utilización en zonas urbanizadas próximas a la red eléctrica.

Estos sistemas están compuestos por paneles fotovoltaicos que se encuentran conectados a la red eléctrica convencional a través de un inversor, por lo que se produce un intercambio energético entre la red eléctrica y el sistema fotovoltaico. Así, el sistema inyecta energía a la red cuando su producción supera el consumo local y extrae energía de ella en caso contrario.

Los SFCR presentan una gran ventaja porque no necesitan baterías ni reguladores de carga, por lo que se convierten en sistemas más baratos. En cambio, los inversores si requieren de mayores exigencias, ya que deberán estar conectados en fase con la tensión de la red.

Uno de los factores favorables de los sistemas conectados a la red es la posibilidad de mejorar la calidad del servicio de la energía suministrada por la red, procurando que la máxima producción del sistema fotovoltaico coincida con horas en que los problemas de suministro de las compañías eléctricas sean más graves.

La energía distribuida representa ventajas en comparación con la transmisión convencional que se realiza mediante las plantas termoeléctricas. La energía generada por estas plantas es transportada a altos voltajes a través de grandes distancias, hasta una carga distribuidora donde el voltaje es disminuido para ser utilizado, provocando así considerables pérdidas de energía.

En cambio, las plantas fotovoltaicas son construidas cercanas a la demanda eléctrica y son mucho más fáciles de construir, de instalar y de expandirse en la medida en que la demanda se incrementa. A lo anterior se le añade la ventaja de que no consumen combustibles fósiles, no contaminan el aire ni el agua y son silentes [35]. En la figura 3.6 se muestra un sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica.



Figura 3. 6 Sistema solar fotovoltaico conectado a la red [42]

3.5 CONVERTIDOR DE CORRIENTE DIRECTA A CORRIENTE ALTERNA (CD-CA)

Una de las decisiones clave a la hora de realizar una instalación de placas solares en tu cubierta es el tipo de inversor. Después de los paneles solares, los inversores fotovoltaicos son el segundo elemento más importante de una instalación de energía solar fotovoltaica.

Un inversor fotovoltaico es un convertidor que transforma la corriente continua que recibe de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna, que es la que se puede usar en hogares, almacenar en baterías o verter a la red [36].

3.5.1 Tipos de inversores fotovoltaicos

En el caso de el autoconsumo solar residencial, se usan principalmente tres tipos de inversores solares, inversores string o en cadena, microinversores y optimizadores de potencia. En la industria solar, a los microinversores y a los optimizadores de potencia se les conoce como dispositivos de electrónica de potencia a nivel de modulo o MLPEs (Module Level Power Electronics).

Hoy en día los inversores string son los más utilizados a nivel residencial en todo el mundo, acaparando una alta cuota de mercado. Sin embargo, las tecnologías MLPEs están empezando a hacerse hueco, ya que han conseguido reducir muchos costes de fabricación [36].

3.5.2 Inversores string o en cadena

Los inversores string son actualmente la opción más utilizada en todo el mundo. El inversor string se desarrolló hace décadas, por lo que se trata de una tecnología madura que ha sido probada y que resulta eficaz, sin embargo, no es adecuada para ciertos tipos de instalación.

Debido a su principio de funcionamiento, un inversor string capta tanta electricidad como el panel menos eficiente del ramal, es decir, si un único panel del ramal se ve afectado por una sombra a cualquier hora del día o de forma estacionaria, la potencia entera del ramal se ve reducida a la potencia del panel que se encuentra en la zona sombreada.

Como consecuencia de esto el inversor string no es una buena solución cuando los paneles están orientados hacia varias direcciones o se ven afectados por sombras. Estas sombras provocadas por los objetos de alrededor son una de las principales razones por las que un panel disminuye notablemente, o incluso llega a anular, su producción. En la figura 3.7 se muestra un inversor string oh de cadena de la marca ABB utilizados para conversión de energía eléctrica de C.D a C.A [36].



Figura 3. 7 Inversor String marca ABB [43]

3.5.3 Microinversores

Los microinversores han ganado profundidad en los ultimos tiempos en el autoconsumo fotovoltaico residencial, no obstante los microinversores suelen ser más caros que los inversores string y los optimizadores de potencia pero presentan ciertas ventajas con el paso del tiempo el costo de los microinversores continua disminuyendo, lo que repercute directamente en el aumento de ventas.

Se instalan en cada panel solar de manera individual, cada uno de ellos es un convertidor independiente que transforma la corriente continua en corriente alterna, sin necesidad de que la corriente continua viaje hasta el centro de inversion como ocurre en los inversores string.

Los microinversores pueden venir integrados directamente en el panel solar o situarse proximo a este, en la estructura metalica.

La principal ventaja que ofrecen los microinversores frente a los inversores string es la eliminacion del impacto negativo que producian las sombras, ya fueran totales o parciales.

Por consiguiente, la producción aumenta porque se elimina el efecto “cuello de botella” producido en los inversores string. Además, los microinversores permiten la monitorización de cada panel [36]. En la figura 3.8 se muestra un microinversor de la marca Enphase de 253 W de salida.



Figura 3. 8 Microinversor de la marca Enphase de 253 W de salida [44]

3.5.4 Optimizadores de potencia

Los optimizadores de potencia presentan las mismas ventajas que los microinversores frente a los inversores string, pero son ligeramente más baratos. A menudo, los optimizadores de potencia se consideran una solución intermedia entre los microinversores y los inversores string, o un complemento para estos últimos.

Al igual que los microinversores, los optimizadores de potencia se colocan en cada panel solar individualmente y generalmente vienen integrados. La principal diferencia con los microinversores es que los optimizadores de potencia no convierten corriente continua en corriente alterna.

Son convertidores de corriente continua en corriente continua cuya función es modificar el punto de funcionamiento de la curva I.V (Corriente-Voltaje) de los paneles que reciben sombras, ya que el resto sigue funcionando igual. En otras palabras, los optimizadores de potencia siguen el punto de máxima potencia. Con voltaje fijo de cada circuito, lo que permite unificar las intensidades del ramal conectado al inversor string.

Al igual que los microinversores permiten la monitorización individual de cada panel solar reduciendo el efecto de sombras en el funcionamiento de la instalación solar fotovoltaica. Las instalaciones que utilizan optimizadores son más accesibles económicamente y tienen costos menores de mantenimiento [36]. En la figura 3.9 se muestra un optimizador de potencia uno de los elementos básicos para la central fotovoltaica.



Figura 3.9 Optimizador de potencia. [45]

3.6 DISEÑO DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE 300 Mw

Para poder comenzar con el diseño de la central fotovoltaica es necesario tener en cuenta los siguientes datos:

Se necesita realizar el cálculo de la potencia a generar por el sistema fotovoltaico, para lo cual se recomienda utilizar la siguiente fórmula.

$$P_s = \frac{E_{req}(\text{por día}) * CP}{HSP * n} \quad (3.1)$$

Donde:

P_s : Es la potencia del sistema

E_{req} : Es la energía requerida por el sistema en KWh

CP: Constante solar

HSP: Hora Solar Pico

n: Eficiencia del sistema

3.6.1 Horas Solar Píco (HSP)

Podríamos definirla como una unidad encargada de medir la irradiación solar y definirla como el tiempo en (horas) de una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m^2 . Para nuestro caso nos apoyaremos con los datos de la latitud y altitud de la zona donde se pretende instalar la central fotovoltaica, en nuestro caso en Petacalco Guerrero. A continuación, se muestra las horas solar pico de la zona.

Tabla 3. 1 Horas Solar Pico de Petacalco Guerrero.

Incidente de insolación promedio mensual en una superficie horizontal (kWh / m² / día)	
Lat 17.984 Lon -102.118	Promedio de 22 años
Enero	5.25
Febrero	6.24
Marzo	7.10
Abril	7.34
Mayo	7.09
Junio	6.23
Julio	6.06
Agosto	5.88
Septiembre	5.25
Octubre	5.57
Noviembre	5.38
Diciembre	4.93
Promedio anual	6.02

Como se observa en la tabla el promedio anual de hora solar pico es de 6.02 KWh/m² valor que más adelante se utilizara para el cálculo de la energía requerida por día.

En nuestro caso la potencia del sistema es de 300Mw, una vez ya conocida la potencia del sistema, procederemos a realizar el cálculo del número de paneles necesarios para generar la potencia deseada. A continuación, se presenta en la figura el panel solar a utilizar SolarWorld SW 300W Mono.



Figura 3. 10 Panel Solar SolarWorld SW 300 Mono [46]

3.6.2 Cálculo de paneles solares

Para el cálculo del número de paneles, se utilizará mediante la siguiente ecuación:

$$np = \frac{Ps}{Pp} \quad (3.2)$$

Donde:

np : número de paneles

Ps : potencia requerida por el sistema

Pp : potencia pico del panel fotovoltaico

Tabla 3.2 Especificaciones del panel solar fotovoltaico.

Voltaje de circuito abierto (Voc)	40 V
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmpp)	32.6 V
Corriente de corto circuito (Ioc)	9.83 ^a
Corriente en el punto de máxima potencia (Impp)	9.31 A
Potencia máxima	300 W
Eficiencia del módulo fotovoltaico	17.89%
Largo del panel fotovoltaico	1.676 m
Ancho del panel fotovoltaico	1.001 m

Una vez obtenido estos datos de la tabla de especificaciones, se realiza el cálculo de paneles solares utilizando la formula (3.2).

$$np = \frac{300,000,000 \text{ W}}{300 \text{ W}_p}$$

$$np = 1,000,000$$

3.6.3 Calculo de inversores

Una vez que se ha definido el número de paneles solares a utilizar, se debe de elegir el tipo y número de inversores a utilizar. Debido al número tan elevado de paneles a utilizar se propone un inversor central de gran potencia, para nuestro caso se propone utilizar un inversor central SUNNY CENTRAL 2500-EV.

Datos técnicos	SC 2500-EV
De entrada (DC)	
MPP rango de voltaje V_{DC} (a 25 ° C / 50 ° C)	850 V a 1425 V / 1275 V
Min. voltaje de entrada $V_{DC, min}$ / Iniciar la tensión $V_{DC, de inicio}$	778 V / 878 V
Max. voltaje de entrada $V_{DC, max}$	1500 V
Max. entrada de corriente $I_{DC, max}$ (a 25 ° C / 50 ° C)	3000 A / 2700 A
Max. cortocircuito valoración actual	4300 A
Número de entradas de CC	24
Max. número de cables de CC por entrada DC (para cada polaridad)	2 x 800 kcmil, 2 x 400 mm ²
vigilancia de la zona integrado ($\pm 0,5\%$ resistencias en derivación)	0
DC disponibles tamaños de fusibles (por entrada)	200 A, 250 A, 315 A, 350 A, 400 A, 450 A, 500 A
De salida (AC)	
de alimentación de CA nominal $\cos \phi = 1$ (a 25 ° C / 40 ° C / 50 ° C)	2500 kVA / 2350 kVA / 2250 kVA
de alimentación de CA nominal $\cos \phi = 0,8$ (a 25 ° C / 40 ° C / 50 ° C)	2,000 kW / 1.880 kW / 1.800 kW
Nominal de corriente $I_{AC, nom}$ - Max. Yo corriente de salida $I_{CA, max}$	2624 A
Max. Distorsión armónica total	<3% a la potencia nominal
tensión nominal de CA / rango de tensión de CA nominal U_1	550 V / 440 V a 660 V
la frecuencia de alimentación de CA	50 Hz / 47 Hz a 53 Hz 60 Hz / 57 Hz a 63 Hz
El factor de potencia con factor de potencia nominal de potencia / desplazamiento ajustable	1 / 0,8 sobreexcitado a 0,8 subexcitada

Figura 3. 11 Datos Técnicos Inversor SUNNYCENTRAL 2500-EV [47]

De acuerdo a las características necesarias en la región a las altas temperaturas registradas a lo largo del año en las costas de México se eligió este inversor ya que maneja potencias altas además de trabajar a temperaturas altas, otra de las ventajas es su voltaje máximo de alimentación de 1500V así como su factor de potencia de 0.8 con una potencia de 1880 Kw a su salida, ventajas que nos ayudaran a tener una mejor distribución de paneles solares en los arreglos que se harán posteriormente a su cálculo.

Para realizar el cálculo del número de inversores a instalar se utilizará la siguiente fórmula

$$N_{inv} = \frac{P_{central}}{P_{inv}} \quad (3.3)$$

Donde:

N_{inv}: es el número de inversores a utilizar

P_{central}: potencia de la central fotovoltaica

P_{inv}: potencia del inversor

Por lo tanto:

$$N_{inv} = \frac{300Mw}{1.88Mw}$$

$$N_{inv} = 160 \text{ Inversores}$$

De acuerdo a las características de entrada del inversor y del panel fotovoltaico, se procederá a realizar el arreglo de los paneles fotovoltaicos en serie y en paralelo con la finalidad de aprovechar el mayor voltaje posible de los inversores y a su vez reducir la corriente de salida del arreglo en cada uno de los inversores.

El número de paneles en serie a considerar es de 46 paneles, con este número de paneles en serie se obtiene un voltaje de 1499.6 V aprovechando así al máximo el voltaje de entrada permitido por el inversor y se tendrán 135 paneles en paralelo lo cual nos dará una corriente de 1253.66 A, lo cual nos dará un total de 6210 paneles fotovoltaicos por cada inversor instalado.

3.6.4 Disposición de paneles solares

De acuerdo a la ubicación geográfica de nuestro país, la mejor orientación de los paneles solares es hacia el sur, se debe tener en cuenta la latitud de la zona donde se instalará la central fotovoltaica. Para nuestro caso la latitud es de 18.1333. Este valor será el grado de inclinación que tendrán los paneles solares para su mejor captación de radiación solar durante todo el año. En la figura 3.12 se muestra la orientación del panel solar, así como su ángulo de inclinación para una mejor captación solar.

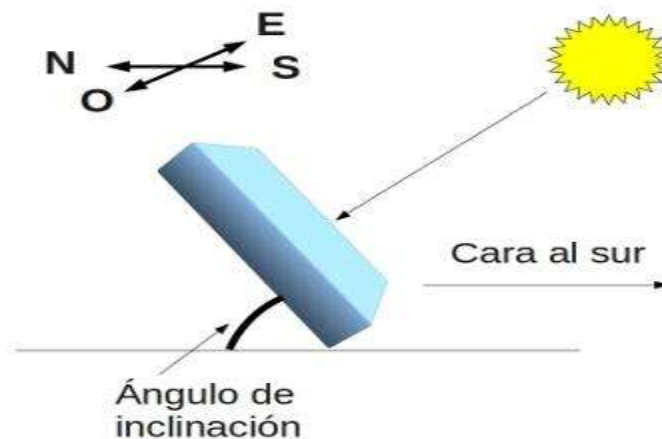


Figura 3.12 Diagrama del ángulo de inclinación de un panel fotovoltaico [48]

3.6.5 Cálculo de sombras

La distancia entre paneles es de suma importancia para no afectar la irradiación solar entre una fila y otra. Por lo que es necesario calcular dicha distancia mínima entre paneles fotovoltaicos. En la figura 3.10 se muestra la posición del sol con los diferentes ángulos involucrados para el cálculo de la distancia mínima entre paneles, así como la fórmula de la distancia mínima entre paneles fotovoltaicos. En la figura 3.13 se muestra la posición del sol para el cálculo de la distancia mínima a utilizar entre cada panel fotovoltaico.

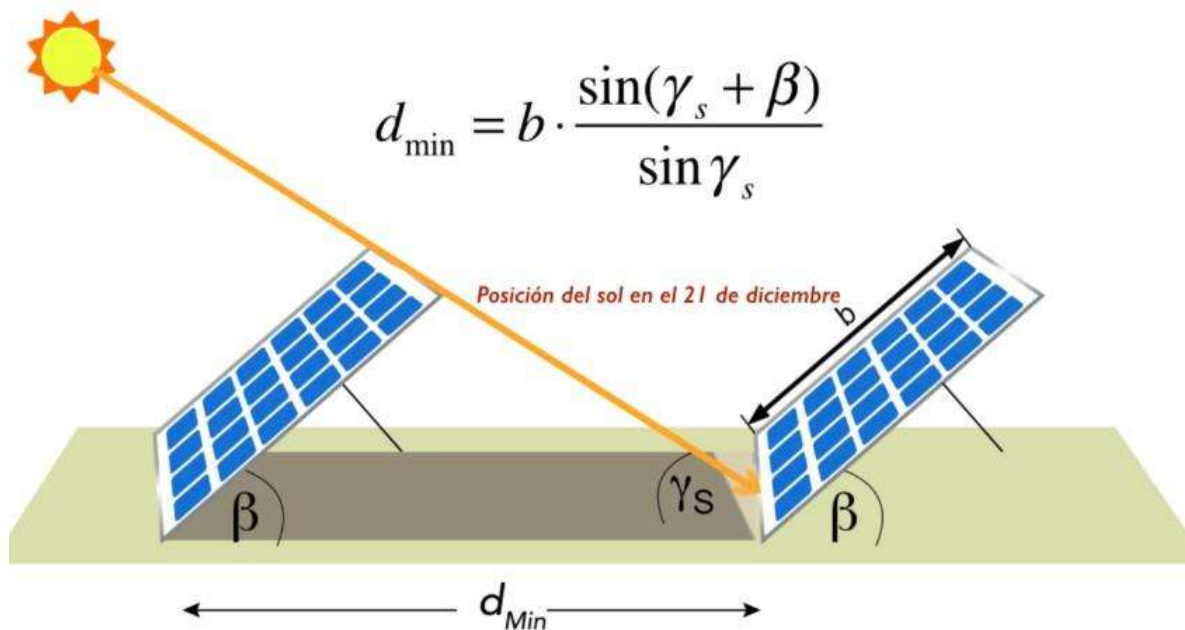


Figura 3. 13 Posición del sol para el cálculo de la distancia mínima entre paneles fotovoltaicos [49]

Para el cálculo de la distancia mínima es necesario realizar una serie de pasos los cuales se presentan a continuación:

Paso 1.- se calcula el ángulo θ_z con base del ángulo de latitud del lugar

$$\theta_z = \text{ángulo de latitud del lugar} + 23.5^\circ$$

$$\theta_z = 18.133^\circ + 23.5^\circ$$

$$\theta_z = 41.633^\circ$$

Paso 2. Calculo del ángulo γ_s este ángulo nos dará la sombra más crítica que se tendrá en todo el año cuando el solsticio de invierno se presente el 21 de diciembre.

$$\gamma_s = 90^\circ - \theta_z$$

$$\gamma_s = 90^\circ - 41.633^\circ$$

$$\gamma_s = 48.367^\circ$$

Una vez obtenido estos datos se procede a realizar el cálculo de la distancia mínima mediante la siguiente formula:

$$D_{min} = b * \frac{\sin(\gamma_s + \beta)}{\sin \gamma_s}$$

Donde:

β : es el ángulo de inclinación del modulo

b = el largo del panel fotovoltaico

γ_s = ángulo critico en el solsticio de invierno

$$D_{min} = 1.676 \text{ m} * \frac{\sin(48.367 + 18.133)}{\sin 48.367}$$

$$D_{min} = 1.676 \text{ m} * 1.227$$

$$D_{min} = 2.056 \text{ m}$$

3.6.6 Cálculo de la superficie mínima a utilizar

A continuación, se obtendrá la superficie mínima a utilizar por cada uno de los paneles solares instalados, tomando en cuenta las dimensiones del panel fotovoltaico que se obtienen de la tabla de especificaciones presentada en la tabla 3.1 de este capítulo.

Para el cálculo de la superficie se tienen los siguientes datos:

Largo del panel = 1.676 m

Ancho del panel = 1.001 m

Angulo de inclinación = 18.133 °

De acuerdo a la formula trigonométrica para el cálculo de superficie mínima se obtienen los siguientes resultados

$$\cos \theta = \frac{\text{Cateto adyacente}}{\text{Hipotenusa}}$$

$$\text{Cateto adyacente} = \cos \theta * \text{Hipotenusa}$$

$$\text{Cateto adyacente} = \cos 18.133 * 1.676 \text{ m}$$

$$\text{Cateto adyacente} = 1.574 \text{ m}$$

A este valor se le sumara la distancia mínima entre cada panel para obtener una distancia nueva por panel fotovoltaico.

$$D_{\text{nueva}} = D_{\text{min}} + \text{Cateto adyacente}$$

$$D_{\text{nueva}} = 2.056 \text{ m} + 1.574 \text{ m}$$

$$D_{\text{nueva}} = 3.63 \text{ m}$$

Una vez realizado este nuevo cálculo podemos definir de manera exacta la dimensión de la superficie total a utilizar por cada panel fotovoltaico con un simple cálculo, el cual se presenta a continuación.

$$D_{final} = D_{nueva} * \text{ancho del panel fotovoltaico}$$

$$D_{final} = 3.63 \text{ m} * 1.001 \text{ m}$$

$$D_{final} = 3.634 \text{ m}^2$$

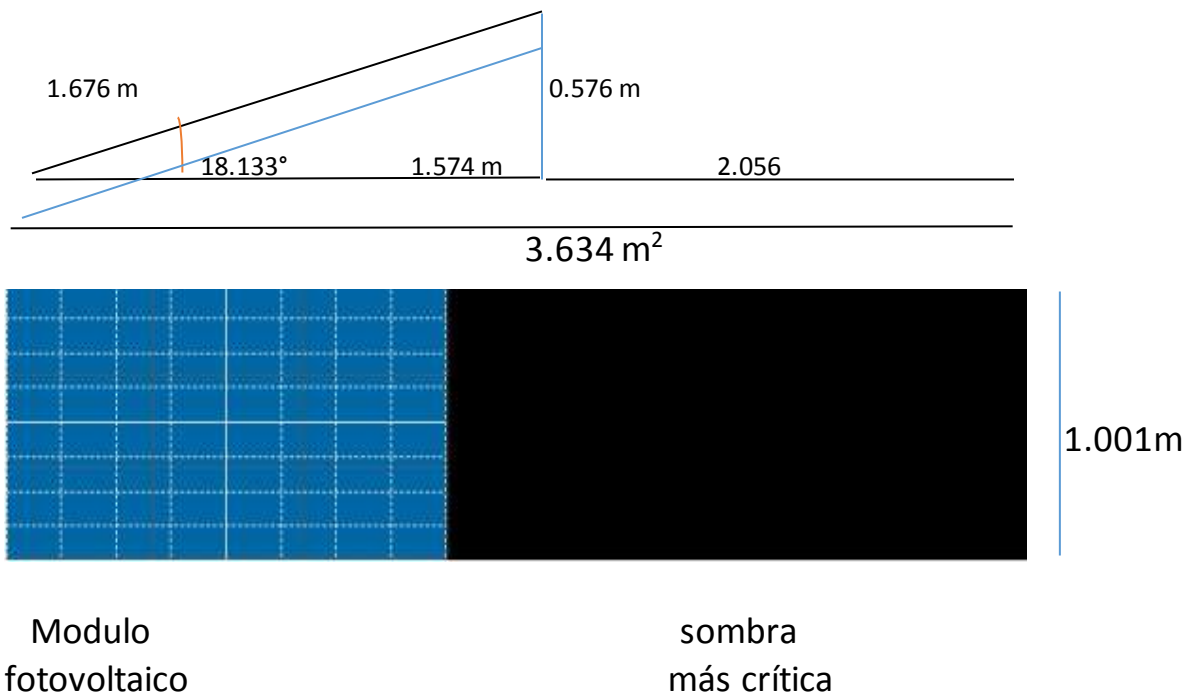


Figura 3. 14 Diagrama esquemático de la superficie total del panel fotovoltaico, así como su sombra en el punto más crítico.

Como ya se mencionó esto solo es la superficie mínima a utilizar de un panel fotovoltaico, para lo cual se multiplicará el número de paneles necesarios para la central fotovoltaica por la D final para así obtener la superficie mínima a utilizar para su correcta instalación.

$$\text{Superficie total} = \text{numero de paneles} * D \text{ final}$$

$$\text{Superficie total} = 1,000,000 * 3.634 \text{ m}^2$$

$$\text{Superficie total} = 3,634,000 \text{ m}^2$$

Una vez realizados los cálculos necesarios para el diseño de la central, procedemos a realizar el cálculo de energía generada por año. Para ello utilizaremos la siguiente formula:

$$\text{energia por dia} = \frac{Ps * HSP * n}{CS}$$

Donde:

Ps: Potencia del sistema

HSP: Hora Solar Pico en KW/m²

n: eficiencia global del sistema

CS: constate solar

Cabe mencionar que los datos a utilizar en la siguiente fórmula fueron obtenidos en el proceso del diseño de la central fotovoltaica los cuales son los siguientes:

$$Ps = 300 \text{ Mw}$$

$$HSP = 6.02 \text{ KWh/m}^2$$

$$n = 85\%$$

$$CS = 1000 \text{ W/m}^2$$

$$energia\ por\ dia = \frac{300Mw * 6.02 \frac{Kwh}{m^2} / dia * 0.85}{1000 W/m^2}$$

$$energia\ por\ dia = 1,535,100\ kwh/dia$$

Una vez que sabemos la cantidad de Kwh/día generada por día si la multiplicamos por los 365 días del año tendríamos 560.3115 GW/h al año.

Con esto terminamos los cálculos necesarios para el diseño de la central fotovoltaica, aclarando que para el propósito de esta tesis no es necesario realizar el cálculo de las protecciones, ni cálculo de conductores.

CAPITULO 4

OPERACIÓN DE UNA CENTRAL HÍBRIDA

4.1-ENERGÍA SOLAR HÍBRIDA

Es un sistema de producción de energía, mediante la combinación de energía solar con la obtenida de una central térmica tradicional, de biomasa, energía eólica o de combustibles fósiles.

Con este sistema se puede aumentar la potencia en momentos de mayor demanda y por lo tanto es menos dependientes de las fluctuaciones en la radiación solar [50]. En la figura 4.1 se muestra el esquema de producción de energía mediante energía solar híbrida.

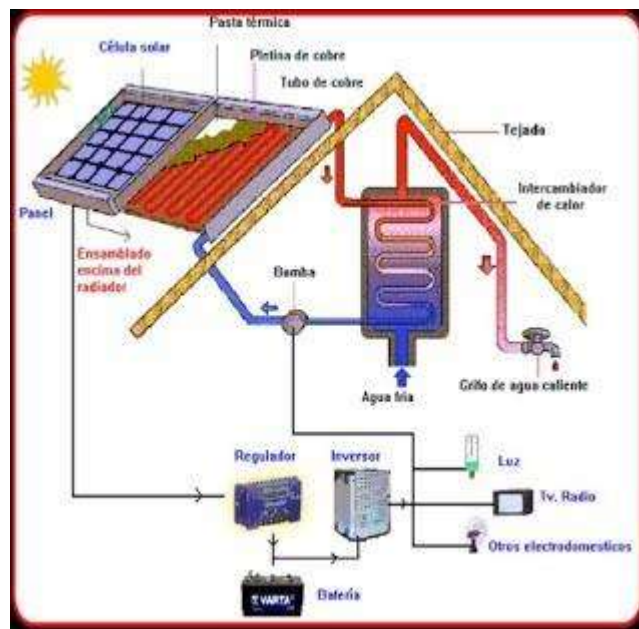


Figura 4. 1 Esquema de producción de energía solar híbrida. [52]

4.2 CENTRAL TERMOSOLAR

Es una instalación que permite el aprovechamiento de la energía del sol para la producción de electricidad. Tiene un ciclo térmico semejante al de las centrales termoeléctricas convencionales, la energía calorífica que se produce en un determinado foco es transformada en energía mecánica mediante una turbina y posteriormente, en energía eléctrica mediante un alternador.

La única diferencia es que mientras las centrales termoeléctricas convencionales el foco calorífico se consigue por medio de la combustión de una fuente fósil de energía (carbón, gas), en las solares se obtiene mediante la acción de la radiación solar que incide sobre un fluido [50]. En la figura 4.2 se muestra el diagrama de una central termo-solar, la cual será implementada en este trabajo.

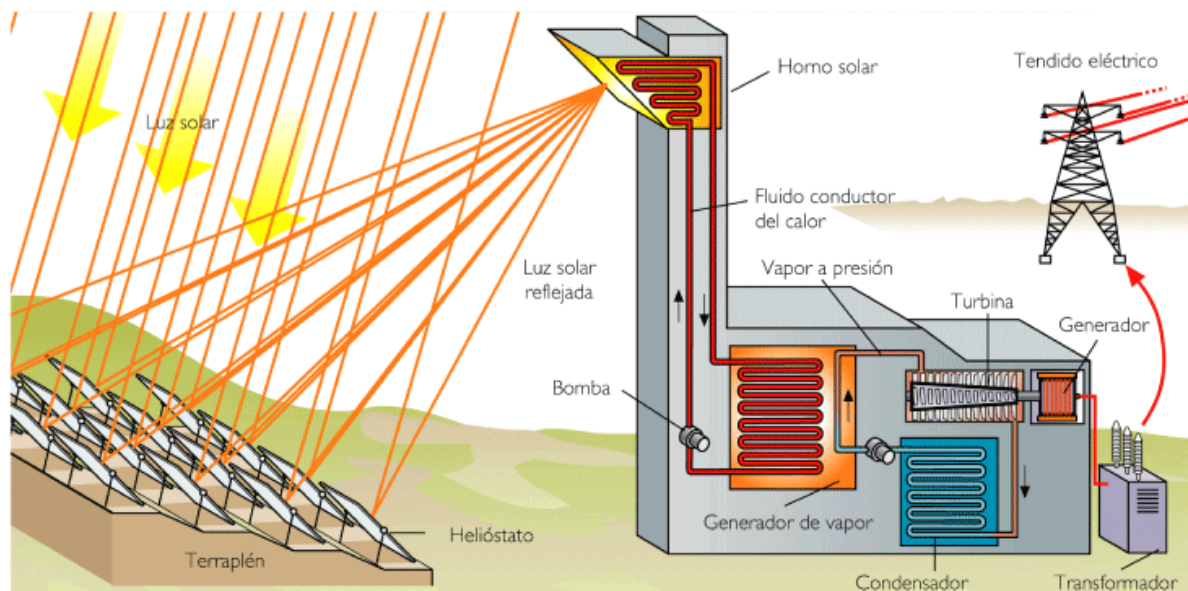


Figura 4. 2 Central termo-solar [53]

4.2.1 Funcionamiento de central termo solar

Una central de este tipo, ésta formada por un campo de paneles solares que reflejan la luz del sol y concentran los haces reflejados en una caldera situada sobre una torre de gran altura.

En la caldera, el aporte calorífico de la radiación solar reflejada es absorbido por un fluido térmico (sales fundidas, agua u otros). Dicho fluido es conducido hacia un generador de vapor, donde transfiere su calor a un segundo fluido, generalmente agua, el cual es convertido así en vapor.

A partir de este momento el funcionamiento de la central es análogo al de una central termoeléctrica convencional. Por tanto, este vapor es conducido a una turbina donde la energía del vapor es convertida en energía mecánica rotatoria que permite al generador producir electricidad. El fluido es posteriormente conducido en un condensador para repetir el ciclo.

Como la producción de una central solar depende en gran medida de las horas de insolación, para aumentar y estabilizar su producción, suele disponerse de sistemas de almacenamiento térmico o sistemas de apoyo intercalados en el circuito de calentamiento.

La energía producida, después de ser elevada su tensión en los transformadores es transportada mediante las líneas de transmisión eléctricas a la red general del sistema [50]. En la figura 4.3 se muestra el esquema de funcionamiento de una central termo solar del tipo torre.

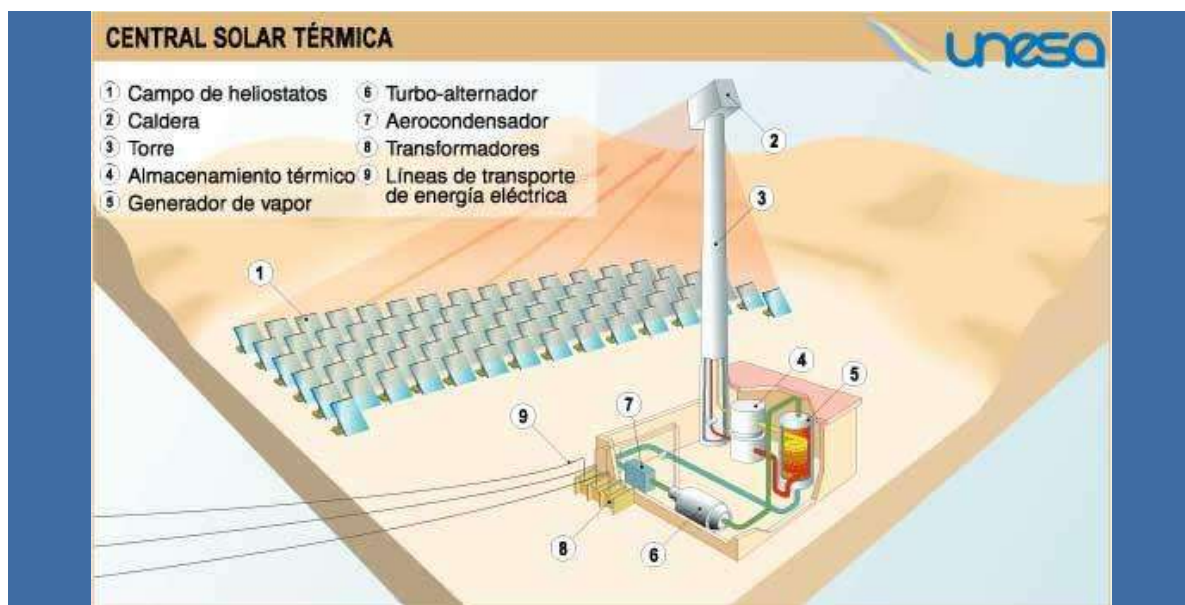


Figura 4. 3 Elementos de un central termo solar tipo torre. [54]

4.3- COSTO DEL COMBUSTIBLE

De acuerdo con datos realizados en la central termoeléctrica “Plutarco Elías Calles” ubicada en el municipio de unión, Guerrero, conocida como Petacalco, es la más contaminante del país anualmente genera 17 millones 700 mil toneladas de bióxido de carbono (CO_2), principal gas que provoca el efecto invernadero y que acelera el cambio climático. De acuerdo con la Dirección Municipal de Ecología de la Unión, las cenizas que genera la planta afectan a la flora de toda la zona de influencia, principalmente los cultivos de mango, limón, toronja y otros propios del lugar.

Debido a que las centrales carboeléctricas requieren de la extracción, transporte y almacenamiento de grandes cantidades de carbón. Estas centrales liberan dióxido de azufre (SO_2), monóxido de nitrógeno (NO), mercurio y otros contaminantes a la atmosfera cuando se quema el carbón.

Las cenizas y otros residuos que se acumulan en la central requieren de un manejo seguro y depósitos especiales para su desecho, debido a que las emisiones de SO_2 , por la combustión del carbón provocan el efecto conocido como “lluvia acida”, las cuales pueden ocasionar daños a peces y otras formas de vida acuática, bosques, cosechas, edificios y monumentos.

En el caso de Petacalco las cenizas tienen un periodo de confinamiento a cielo abierto, lo que representa una amenaza potencial para las poblaciones cercanas, porque algunos residuos contienen metales pesados altamente tóxicos, como el Arsénico, Berilio, Vanadio y Cadmio. Según lo han demostrado decenas de investigaciones.

De acuerdo a las proyecciones en la prospectiva del 2007-2016 de la Secretaría de Energía (SENER) se muestra un aumento del 12 por ciento de la producción de energía eléctrica mediante carbón. La central de Petacalco utiliza como combustible principal el carbón importado, el cual es transportado en barcos con capacidad de hasta 150,000 toneladas de peso muerto además de utilizar combustóleo pesado como combustible alternativo y diésel para los arranques, estos se descargan en buques-tanque tipo PANAMAX de 50,000 toneladas.

El consumo anual de carbón es de aproximadamente 5.47 millones de toneladas, con un costo cercano a los 449 millones de pesos. Lo cual nos refleja una cantidad excesivamente alta de consumo de carbón y a precios económicamente muy altos esto para generar la energía eléctrica y abastecer la demanda que se tiene hoy en día de energía eléctrica [51].

4.4 PROPUESTA A UTILIZAR EN LA GENERACION DE ENERGÍA ELÉCTRICA

4.4.1 Termoeléctrica

En una central termoeléctrica convencional se utiliza un ciclo Rankine ideal el cuál mediante la quema de combustible el vapor de agua es producido en una caldera a alta presión para luego ser llevado a una turbina donde se expande para generar trabajo mecánico en su eje (este eje unido al de un generador eléctrico, el cual generara electricidad en la central termoeléctrica).

El vapor que sale de la turbina se introduce en un condensador, donde el vapor condensado cambia al estado líquido, donde posteriormente una bomba se encargara de aumentar la presión del agua para introducirlo nuevamente a la caldera.

Está formado por cuatro procesos, dos isoentrópicos y dos isobáricos. Donde la bomba y la turbina son equipos que operan en el proceso isoentrópico, la caldera y el condensador operan sin perdidas de carga por lo que son parte del proceso isobárico y por tanto sin caída de presión los estados principales del ciclo están definidos en el diagrama T-s (1: vapor sobrecalentado, 2: vapor húmedo, 3: liquido saturado y 4: liquido subenfriado).

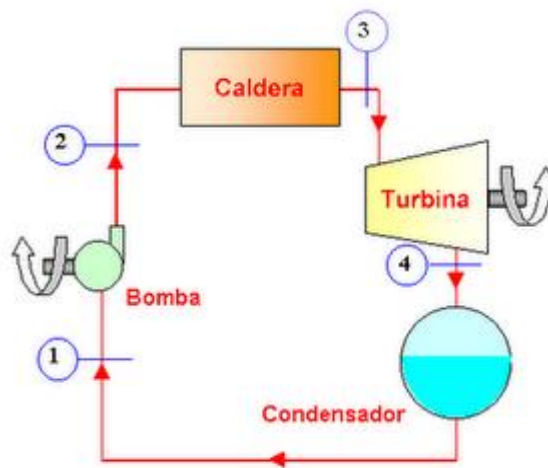


Figura 4. 4 Ciclo Rankine básico [55]

El vapor saturado descargado por la caldera a una presión P_1 es suministrado a la turbina, en donde se expande isoentrópicamente hasta la P_2 . En el condensador se transforma el vapor húmedo isobárica a isotérmicamente, en liquido saturado mediante la remoción de calor puesto que la presión $P_2=P_3$, es mucho menor que la presión del vapor en la caldera $P_4=P_1$, el líquido saturado se bombea isoentrópicamente hasta alcanzar la presión P_4 .

El líquido comprimido es suministrado a la caldera, donde se calienta primero hasta obtener una temperatura de saturación correspondiente a la presión P_1 para luego evaporarse hasta transformarse en vapor saturado seco para terminar con el ciclo.

Para nuestro análisis termodinámico de la planta Termoeléctrica de Petacalco, se tomarán como datos iniciales la presión y la temperatura de salida del generador de vapor P_1 y T_1 , presión de salida del generador de vapor P_2 , la eficiencia de la turbina con ello vamos a proceder a determinar la potencia eléctrica de generación de la central termoeléctrica [52].

Datos obtenidos de las tablas de vapor

$P_1 = 171.65 \text{ bar}$ $T_1 = 540.55 \text{ }^\circ\text{C}$
 $P_2 = 0.075 \text{ bar}$ $h_{f2} = 168.2925 \text{ KJ/Kg}$

Sobrecalentados

$h_1 = 3466.5 \text{ KJ/Kg}$ $h_{fg2} = 2406.3 \text{ KJ/Kg}$
 $S_1 = 6.5169 \text{ KJ/Kg}$ $S_{f2} = 0.5747 \text{ KJ/Kg}$
 $\eta = 0.87 \%$ $S_{fg2} = 7.6794 \text{ KJ/Kg}$
 $\dot{m}_1 = 271.3888 \text{ Kg/s}$

A continuación, se procede a realizar los cálculos necesarios para obtener la potencia generada por la termoeléctrica.

Damos por hecho que:

$$S_1 = S_2 \quad (4.1)$$

Dónde:

$$S_2 = S_{f2} + X_2 S_{fg2} = S_1 \quad (4.2)$$

Despejando X_2 de la ecuación (4.2) se tiene:

$$X_2 = \frac{S_1 - S_{f2}}{S_{fg2}} \quad (4.3)$$

Sustituyendo en la Ec. (4.3) se tiene:

$$X_2 = \frac{6.5169 - 0.5747}{7.6794}$$
$$X_2 = 0.7737$$

Datos sobrecalentados:

$$h_2 = h_{f2} + X_2 h_{fg2} \quad (4.4)$$

Sustituyendo los valores en la Ec. (4.4) obtenemos el valor de h_2 :

$$h_2 = 168.2925 + (0.7737 * 2406.3)$$

$$h_2 = 2030.0468 \text{ KJ/Kg}$$

Para el cálculo de la potencia utilizaremos la siguiente ecuación:

$$\text{Pot} = \dot{m} * \eta (h_1 - h_2) \quad (4.5)$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\text{Pot} = (271.3888 \text{ Kg/s}) * (3465.4 \text{ KJ/Kg} - 2030.0468 \text{ KJ/Kg})$$

$$\text{Pot} = 338.89 \text{ MW}$$

Para obtener la eficiencia se utilizará la siguiente formula:

$$e = \frac{W}{Q} \quad (4.6)$$

Donde:

$$W_t = h_1 - h_2 \quad (4.7)$$

$$W_t = 3466.5 - 2030.0468$$

$$W_t = 1436.4532$$

$$Q = h_1 - h_{f2} \quad (4.8)$$

$$Q = 3466.5 - 168.2925$$

$$Q = 3298.2075$$

Una vez obtenidos los datos de trabajo en la turbina y el calor en el generador de vapor calculamos la eficiencia

$$e = \frac{1436.4532}{3298.2075}$$

$$e = 0.4355$$

4.4.2 Fotovoltaica

En el presente capítulo la energía fotovoltaica es una de las propuestas a utilizar para la generación de energía eléctrica. En el cual se utilizan los datos obtenidos en el capítulo 3 del presente trabajo, esto con el propósito de demostrar que una central fotovoltaica es capaz de poder sustentar las necesidades de potencia que genera una central termoeléctrica convencional durante una parte del día o durante los lapsos de tiempo que se tiene una demanda máxima [52].

A continuación, se presentan los datos necesarios para la justificación de dicha propuesta:

$$np = 1,000,000 \text{ de } 300w$$

$$Ninv = 160 \text{ inversores de } 1880 \text{ Kw}$$

$$\text{Angulo de inclinacion} = 18.133^\circ$$

$$Dmin = 2.056m \text{ entre una fila y otra de paneles solares}$$

$$\text{Superficie total} = 3,634,000 \text{ m}^2$$

Lo cual nos generara:

$$pot = 300 \text{ MW}$$

$$e = 0.85$$

$$\text{energia por dia} = 1,535,100 \frac{kwh}{dia}$$

$$\text{energia por año} = 560.3115 \frac{Gwh}{año}$$

4.4.3 Termoeléctrica-Fotovoltaica

Para el presente estudio, se hará la siguiente comparación esto con la finalidad de comprobar que es posible utilizar energía solar para reemplazar la energía eléctrica producida por una termoeléctrica.

Central termoeléctrica	Central fotovoltaica
Potencia generada	Potencia generada
$P = 338.89 \text{ Mw}$	$P = 300 \text{ Mw}$
Eficiencia	Eficiencia
$e = 0.4355$	$e = .85$

4.4.4 Termoeléctrica y etapa de recalentamiento- Fotovoltaica

En el análisis de este ciclo, es importante describir de manera concisa el funcionamiento del mismo, en el cual el vapor después de haber pasado por parte de la turbina, se extrae de la misma, esto con la finalidad de llevarlo al generador de vapor y a su vez eliminar la humedad, esto se logra recalentándose a presión constante. Posteriormente este vapor se devuelve a la turbina para su expansión.

Debido a la alta demanda de potencia que se tiene hoy en día, la eficiencia del ciclo Rankine puede incrementarse, aumentando la presión de operación en las calderas. Esto trae consigo un mayor grado de humedad en los últimos pasos de la turbina.

Lo cuál para solucionar el problema, se utiliza el recalentamiento, donde el vapor a alta presión que procede de la caldera es expandido solamente en una parte de la turbina, mismo que a su vez volverá a ser recalentado en la caldera. Posteriormente el vapor regresa a la turbina para ser expandido en el condensador.

De manera clara el ciclo Rankine con recalentamiento difiere del ciclo Rankine simple en que el proceso de expansión sucede en dos etapas. En la primera etapa (la turbina de alta presión), el vapor se expande isoentrópicamente hasta una presión intermedia y regresa a la caldera donde se recalienta a presión constante, por lo general hasta la temperatura de entrada, de la turbina de la primera etapa. Después el vapor se expande isoentrópicamente en la segunda etapa (turbina a baja presión), hasta la presión del condensador.

Cabe mencionar que el uso de más de dos etapas de recalentamiento no es práctico, debido a que la ganancia en la eficiencia es muy pequeña, tanto que no justifica el costo y la complejidad adicional [52].

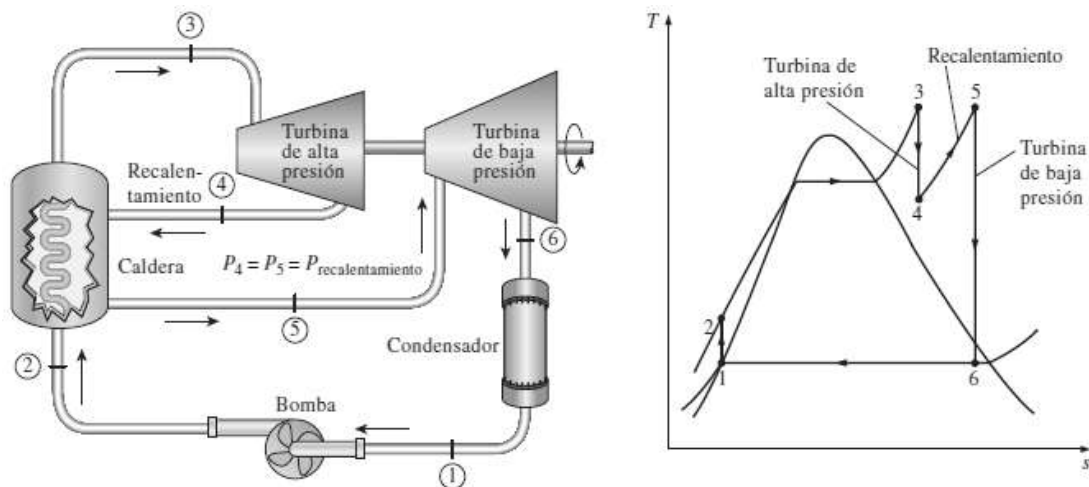


Figura 4. 5 Ciclo Rankine con una etapa de recalentamiento [56].

A continuación, se presentan los datos obtenidos de las tablas de vapor mismas que nos servirán para el análisis termodinámico de una planta termoeléctrica.

$P_1=171.65 \text{ bar}$	$P_x= 60 \text{ bar}$	$P_2= 0.075 \text{ bar}$
$T_1= 540.55 \text{ }^\circ\text{C}$	$h_{fx}= 1213.4 \text{ kJ/Kg}$	$h_{f2}= 168.2925 \text{ kJ/Kg}$

Sobrecalentados

$h_1=3466.5 \text{ kJ/Kg}$	$h_{fgx}= 1571 \text{ KJ/kg}$	$h_{fg2}=2406.3 \text{ kJ/Kg}$
$S_1= 6.5169 \text{ kJ/Kg}$	$S_{fx}= 3.0276 \text{ kJ/Kg}$	$S_{f2}= 0.5747 \text{ kJ/Kg}$
$\eta=0.87$	$S_{gx}= 5.8892 \text{ kJ/Kg}$	$S_{fg2}= 7.6794 \text{ kJ/Kg}$
$\dot{m}= 271.3888 \text{ Kg/s}$	$S_{fgx}= 2.8625 \text{ kJ/Kg}$	

Recalentamiento de la turbina

$P_x= 60 \text{ bar}$	$S_1= S_x$	$h_x= 31000 \text{ kJ/Kg}$
-----------------------	------------	----------------------------

Para poder obtener h_x nos apoyamos del diagrama del Mollier se toman como datos iniciales la presión y temperatura de salida del generador de vapor, P_1 , T_1 , además de la presión de recalentamiento P_x y la presión de salida del generador de vapor P_2 con estos datos podremos calcular la potencia eléctrica de generación.

$P_y=P_x = 60 \text{ bar}$
$T_y= 540 \text{ }^\circ\text{C}$
$h_y= 3541.1 \text{ KJ/Kg}$
$S_y= 7.0564 \text{ kJ/Kg}$

Simplificando se tiene:

$$S_y = S_2 \quad (4.9)$$

$$S_2 = SF_2 + X_2 SF_{g2} = S_y \quad (4.10)$$

$$X_2 = \frac{S_y - SF_2}{SF_{g2}} \quad (4.11)$$

Sustituyendo valores en la ecuación (4.11) se tiene:

$$X_2 = \frac{6.4817}{7.6794}$$

$$X_2 = 0.8440$$

Para obtener los valores sobrecalentados se tiene:

$$h_2 = hf_2 + X_2 hfg_2 \quad (4.12)$$

Sustituyendo valores en la ecuación (4.12) se tiene:

$$h_2 = 168.2925 + (0.8440) \cdot (2406.3)$$

$$h_2 = 2199.2097 \text{ kJ/Kg}$$

Para obtener la potencia en la turbina se utilizará la siguiente ecuación:

$$\text{pot} = \eta_{tg} \dot{m} [(h_1 - h_x) + (h_y - h_2)] \quad (4.13)$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\text{pot} = (0.87)(271.3888 \text{ Kg/s})[(3466.5 \text{ kJ/Kg} - 3100 \text{ kJ/Kg}) + (3541.1 \text{ kJ/Kg} - 2199.2097 \text{ kJ/Kg})]$$

$$\text{pot} = 403.3651 \text{ MW}$$

Para calcular la eficiencia se utilizará la siguiente ecuación:

$$e = \frac{W}{Q} \quad (4.14)$$

Donde:

$$W_t = (h_1 - h_x) + (h_y - h_2) \quad (4.15)$$

$$W_t = (3466.5 \text{ kJ/Kg} - 3100 \text{ kJ/Kg}) + (3541.1 \text{ kJ/Kg} - 2199.2097 \text{ kJ/Kg})$$

$$W_t = 1708.3903 \text{ kJ/Kg}$$

$$Q = (h_1 - h_{f2}) + (h_y - h_x) \quad (4.16)$$

$$Q = (3466.5 \text{ kJ/Kg} - 168.2925 \text{ kJ/Kg}) + (3541.1 \text{ kJ/Kg} - 3100 \text{ kJ/Kg})$$

$$Q = 3739.3075 \text{ kJ/kg}$$

$$e = \frac{1708.3903 \text{ kJ/Kg}}{3739.3075 \text{ kJ/Kg}}$$

$$e = 0.4568$$

4.4.5 Termoeléctrica con una etapa de regeneración y Fotovoltaica

El ciclo regenerativo consiste en extraer una parte del vapor que ya fue utilizado en la turbina a una presión mayor a la que opera en el condensador y con ello suministrar calor al fluido de trabajo, con el fin de aumentar la temperatura antes de pasar por la caldera a una presión determinada. De esta forma se recupera la energía que libera el vapor extraído al condensarse, es decir, disminuye el calor rechazado en el condensador [52].

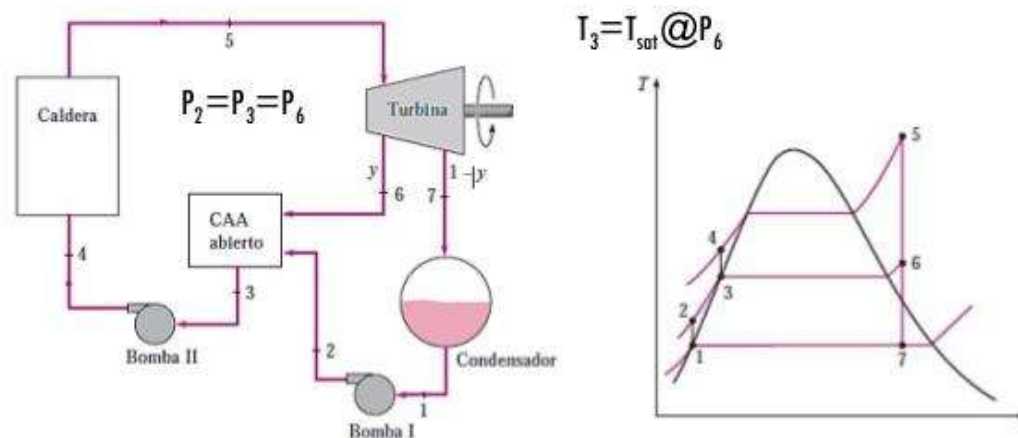


Figura 4. 4 Ciclo Rankine ideal regenerativo con un calentador abierto de agua de alimentación [57]

Para el análisis termodinámico se tomaron en cuenta los siguientes datos: P_1 , T_1 , además de la presión de regenerativo P_a y presión de salida del generador de vapor P_2 , la eficiencia de la turbina η , a continuación, se comenzará con el análisis con la ayuda de los siguientes datos.

Datos obtenidos de las tablas de vapor

$$P_1 = 171.65 \text{ bar}$$

$$P_a = 40 \text{ bar}$$

$$P_2 = 0.075 \text{ bar}$$

$$T_1 = 540.55 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_{f_a} = 1087.3 \text{ kJ/Kg}$$

$$h_{f_2} = 168.2925 \text{ kJ/Kg}$$

Sobrecalentados

$$h_1 = 3466.5 \text{ kJ/Kg}$$

$$h_{fg_a} = 1714.1 \text{ kJ/Kg}$$

$$h_{fg_2} = 2406.3 \text{ kJ/Kg}$$

$$S_1 = 6.5169 \text{ kJ/Kg}$$

$$S_{f_{xa}} = 2.7964 \text{ kJ/Kg}$$

$$S_{f_2} = 0.5747 \text{ kJ/Kg}$$

$$\eta = 0.87$$

$$S_{g_a} = 6.0701 \text{ kJ/Kg}$$

$$S_{fg_2} = 7.6794 \text{ kJ/Kg}$$

$$\dot{m}_1 = 271.3888 \text{ Kg/s}$$

$$S_{fg_a} = 3.2737 \text{ kJ/Kg}$$

$$h_a = 3390 \text{ kJ/Kg}$$

se sabe que:

$$S_1 = S_2 \quad (4.17)$$

Por lo tanto:

$$S_2 = S_{f_2} + X_2 S_{fg_2} \quad (4.18)$$

$$X_2 = \frac{S_2 - S_{f_2}}{S_{fg_2}} \quad (4.19)$$

Sustituyendo valores en la ecuación (4.18) se tiene:

$$X_2 = \frac{6.5169 \text{ kJ/Kg} - 0.5747 \text{ kJ/Kg}}{7.6794 \text{ kJ/Kg}}$$

$$X_2 = 0.7737$$

Siendo este vapor húmedo se tiene:

$$h_2 = h_{f_2} + X_2 h_{fg_2} \quad (4.20)$$

Sustituyendo en la ecuación (4.20) se tiene

$$h_2 = 168.2925 \text{ kJ/kg} + (0.7737) (2406.3 \text{ KJ/kg})$$

$$h_2 = 2030.0468 \text{ KJ/kg}$$

En este caso se realizará un balance de energía

$$\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_a} = \frac{h_{fa} - h_{f2}}{h_a - h_{f2}} \quad (4.21)$$

Para obtener el valor de h_a se utiliza el diagrama de Mollier completo obteniendo ayuda con los datos iniciales la presión y la temperatura de salida del generador de vapor P_1 y T_1 , además de la presión de regenerativo P_a y la presión de salida del generador de vapor P_2 , obteniendo como resultado

$$h_a = 3390 \text{ kJ/Kg}$$

Retomando el balance de energía se sustituye en la ecuación (4.21) obteniendo:

$$\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_a} = \frac{1087.3 \text{ kJ/kg} - 168.2925 \text{ kJ/kg}}{3390 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 168.2925 \text{ kJ/kg}}$$

$$\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_a} = 0.2852$$

Una vez obtenidos los datos necesarios se procede a calcular la potencia utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{pot} = \eta_t \dot{m}_1 [(h_1 - h_a) + (1 - \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_a})(h_a - h_2)] \quad (4.22)$$

$$\text{pot} = (0.87)(271.3888 \text{ kJ/Kg})[(3466.5 \text{ kJ/Kg} - 3390 \text{ kJ/Kg}) + (1 - 0.2852)(3390 \text{ kJ/Kg} - 2030.0468 \text{ kJ/Kg})]$$

$$\text{pot} = 247.5818 \text{ MW}$$

Para el cálculo de la eficiencia se utiliza la siguiente ecuación:

$$e = \frac{Wt}{Q} \quad (4.23)$$

Donde:

$$Wt = (h_1 - h_a) + \left(1 - \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_a}\right)(h_a - h_2) \quad (4.24)$$

$$Wt = (3466.5 \text{ kJ/Kg} - 3390 \text{ kJ/Kg}) + (1 - 0.2852)(3390 \text{ kJ/Kg} - 2030.0468 \text{ kJ/Kg})$$

$$Wt = 1048.5817 \text{ kJ/Kg}$$

$$Q = (h_1 - h_{f_a}) \quad (4.25)$$

$$Q = (3466.5 \text{ kJ/Kg} - 1087.3 \text{ kJ/Kg})$$

$$Q = 2379.2 \text{ kJ/Kg}$$

Por lo tanto :

$$e = \frac{1048.5817 \text{ kJ/Kg}}{2379.2 \text{ kJ/Kg}}$$

$$e = 0.4407$$

4.5 OPERACIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO

Considerando una potencia instalada del subsistema termoeléctrico $P_{Ti} = 300 \text{ Mw}$ con un factor de utilización de $F.P = 0.8$ la potencia efectiva de este subsistema es:

$$P_{TE}=P_{Ti} * F.P = 300 \text{ Mw} * 0.8 = 240 \text{ Mw}$$

Por lo que, el subsistema fotovoltaico tendría que suministrar:

$$P_{FV} = 60 \text{ Mw}$$

Para que el subsistema fotovoltaico suministre los 60 Mw es necesario realizar un cálculo rápido del número de paneles que lograra generar la potencia deseada. A continuación, se presentan los cálculos necesarios para suministrar la potencia requerida por el sistema.

Utilizando la Ecuación 3.2 calcularemos el número de paneles para generar los 60 Mw requeridos por el sistema.

$$np = \frac{Ps}{Pp}$$

$$np = \frac{60,000,000 \text{ W}}{300 \text{ Wp}}$$

$$np = 200,000$$

Utilizando la Ecuación 3.3 calcularemos el número de inversores a utilizar

$$N_{inv} = \frac{P_{central}}{P_{inv}}$$

$$N_{inv} = \frac{60 \text{ Mw}}{1.88 \text{ Mw}}$$

$$N_{inv} = 32 \text{ inversores}$$

A continuación, en la figura 4.7 se presenta una gráfica del factor de utilización de la central fotovoltaica, durante las diferentes horas del día donde se tiene irradiación solar.

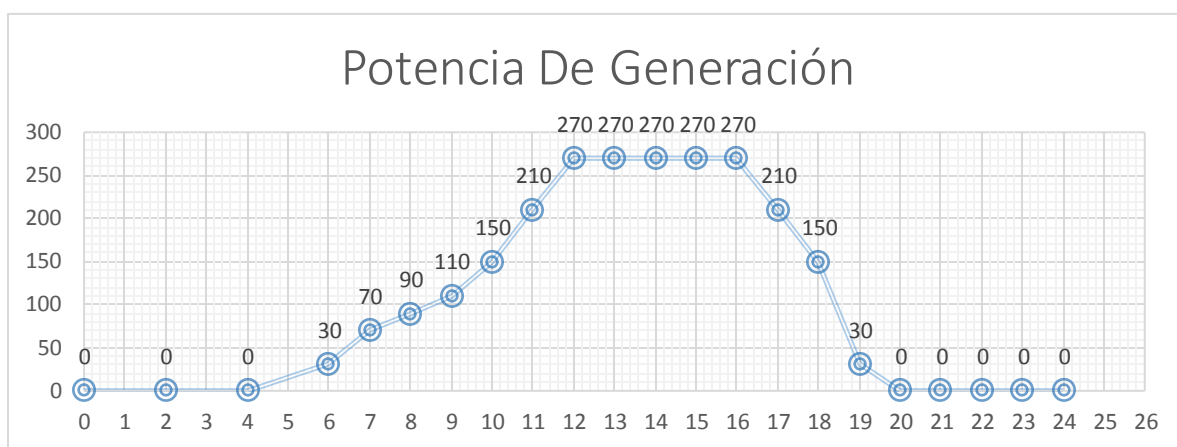


Figura 4. 5 Factor de utilización de la Central Fotovoltaica

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se analizaron, los diferentes tipos de centrales termoeléctricas, así como los diferentes tipos de energías renovables y no renovables. Con esto podemos concluir, que las energías renovables son una fuente de energía que ayudan en la generación de energía eléctrica más limpia que las termoeléctricas, las geotérmicas entre otras.

Dentro del análisis utilizado para el diseño de la central fotovoltaica, se comprendió el funcionamiento de cada uno de los componentes que conforman la central fotovoltaica. Estos mismos componentes ayudaron a facilitar cada uno de los cálculos que se realizaron para obtener la potencia deseada por esta central y con ello demostrar que se pueden aprovechar de una mejor manera los recursos naturales que tenemos dentro de nuestro país.

La implementación de sistemas híbridos por eso hoy en día, para nosotros como ingenieros electricistas, son parte fundamental en la generación de energía eléctrica. En nuestro caso el sistema Termoeléctrico-Fotovoltaico es un claro ejemplo de ello, donde la implementación de los colectores nos permite reducir el consumo de combustible. Ya que, con este sistema, se puede aumentar la potencia en momentos de mayor demanda y por lo tanto son menos dependientes de elementos fósiles.

Por último, se analizaron diferentes propuestas donde se demostró que la energía generada por la central fotovoltaica puede ser de gran ayuda en las centrales termoeléctricas, geotérmicas entre otras donde se tiene una alta demanda de energía en ciertas horas del día, funcionando la central fotovoltaica sola o en conjunto con las centrales ya mencionadas con una etapa de recalentamiento o con una etapa de regeneración, según sea el caso de la central. La energía solar se convirtió en una de las fuentes de energía renovables con más auge dentro del mercado de energía eléctrica, siendo una de las principales y más importante dentro de dicho mercado.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar estudio socioeconómico y un estudio factibilidad para comprobar si la instalación eléctrica es rentable y la inversión sea redituable a corto o mediano plazo.
- Se recomienda utilizar un sistema que permita tener una mayor captación de irradiación solar, los cuales podrían ser sistemas robotizados, tales como la utilización de espejos o heliostatos.
- Se recomienda que los lugares donde se realice una instalación fotovoltaica exista una alta irradiación solar durante todo el año.
- Distancia entre las filas de paneles solares, para evitar sombras entre ellos y no reducir la captación de rayos solares. Mismos que puedan causar condiciones inadecuadas en el sistema fotovoltaico.

- Solicitar dentro del presupuesto, un capital que permita reubicar o reforestar en otra zona los árboles que fueran retirados para colocar la instalación fotovoltaica y así de esta manera no afectar al medio ambiente.

.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. <http://www.erroreshistoricos.com/curiosidades-historicas/la-primera-vez-en-la-historia/1775-la-primera-central-electrica-de-la-historia.html>
- [2]. http://www.definiciones-de.com/Definicion/de/historia_de_la_generacion_de_energia_y_las_centrales_electricas.php
- [3]. <https://solar-energia.net/energias-no-renovables>
- [4]. <http://blog.espol.edu.ec/crielectric/2011/07/02/183/>
- [5]. NOTAS DE PLANTAS TERMOELECTRICAS CONVENCIONALES DEL Dr. Gilberto González Avalos
- [6]. http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/ix.-las-centrales-termicas-de-ciclo-combinado
- [7]. https://energia-nuclear.net/como_funciona_la_energia_nuclear.html
- [8]. <https://twenergy.com/energia/energias-renovables>
- [9]. <https://twenergy.com/energia/energia-solar>
- [10]. http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm
- [11]. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>
- [12]. <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1344-central-eolica>
- [13]. <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1347-central-hidroelectrica>
- [14]. Otras Fuentes de Energía. Energía Mareomotriz notas del profesor Rafael Cisneros de la materia de centrales eléctricas 2.
- [15]. <https://erenovable.com/energia-geotermica/>
- [16]. Otras Fuentes de Energía. Energía Biomasa, notas del profesor Rafael Cisneros de la materia de centrales eléctricas 2.
- [17]. <http://www.evwind.com/wp-content/uploads/2013/02/sunedison.jpg>
- [18]. <https://myloview.es/cuadro-primera-central-electrica-del-mundo-edison-1882-no-224BC20>
- [19]. <https://solar-energia.net/energias-no-renovables/combustibles-fosiles/carbon>
- [20]. https://www.google.com.mx/search?safe=strict&dcr=0&biw=1366&bih=662&tbm=isch&sca=1&q=elementos+de+una+central+termoelectrica&oq=elementos+de+una+central+termoelectrica&gs_l=psy-ab.3..0i24k1.68551.70793.0.71189.17.10.0.0.0.0.242.1386.0j4j3.7.0....0...1.1.64.psy-ab..14.3.555...0i7i30k1.34YgdccddZQ&safe=high#imgsrc=6cJuS4KPtCawIM:
- [21]. https://www.google.com.mx/search?safe=strict&dcr=0&biw=1366&bih=608&tbm=isch&sca=1&ei=cdzUW43yNonwtAXU6qTQAQ&q=esqema+de+un+ciclo+combinado&oq=esqema+de+un+ciclo+combinado&gs_l=img.3...1160770.1166838.0.1167048.36.29.1.0.0.0.291.442.3.1j23j4.28.0....0...1c.1.64.img..7.13.2066...0j0i67k1j0i10i24k1j0i10k1j0i5i10i30k1j0i30k1.0.8MBUf_cvP_w#imgsrc=8KlaleZwXZZQOM:
- [22]. <http://plantasnuclearesite.blogspot.com/>
- [23]. http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm

- [24].<https://www.amdee.org/mapas/parques-eolicos-mexico-2018>
- [25].<https://www.monografias.com/trabajos73/fuentes-energia-renovable/fuentes-energia-renovable4.shtml>
- [26].<https://fuentelunaenergageotermica03.wordpress.com/como-funciona-una-central-geotermica-2/>
- [27].<http://ebasl.es/wp-content/uploads/2014/11/Biomasa3.jpg>
- [28].<http://www.dforcesolar.com/energia-solar/que-es-un-sistema-fotovoltaico/>
- [29].<http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/627-paneles-fotovoltaicos-concepto-y-tipos>
- [30].http://www.esco-tel.com/paneles_solares_monocristalinos_vs_policristalinos.html
- [31].http://www.esco-tel.com/tipos_de_celdas_solares.html (multiunion, mono y policristalino)
- [32].<http://www.isolari.es/tipos-de-placas-fotovoltaicas> (amorfa)
- [33].<http://www.energiafotovoltaica.ws/celdas/celulas-fotovoltaicas-silicio-amorfo.html>
- [34].http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf
- [35].<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia38/HTML/articulo02.htm>
- [36].<https://www.sotysolar.es/academy/inversor-energia-solar-fotovoltaica-que-son-que-tipos-existen>
- [37].<https://renovablesdelsur.com/tiendasp/es/paneles-solares/1168-panel-solar-amerisolar-210w-monocristalino-72-celulas.html>
- [38].<https://www.linio.com.mx/p/panel-solar-fotovoltaico-policristalino-iusa-448137-toe2z2>
- [39].<https://images.sstatic.com/placa-solar-microamorfa-sharp-naf128gk-panel-solar-fotovoltaico-de-capa-fina-6235888z1-19410467.jpg>
- [40].http://deltavolt.pe/images/remote/http--www.ext.deltavolt.pe-dv_images-monocrystalline_cell.jpg
- [41].https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/10/esquema_basico_instalacion_fotovoltaica_autonoma-540x353.jpg
- [42].<https://image.slidesharecdn.com/sistemasolar-fotovoltaicosinyectadosalared-santiagojosrodriguez-hybyte-121130201229-phpapp01/95/sistema-solar-fotovoltaicos-inyectados-a-la-red-santiago-jos-rodriguezhbybyte-34-638.jpg?cb=1354306493>
- [43].<https://new.abb.com/power-converters-inverters/solar/string/three-phase/trio-50-0kw>
- [44].https://http2.mlstatic.com/microinversor-para-paneles-solares-220-volts-270-watts-D_NQ_NP_774098-MLM27944290792_082018-O.webp
- [45].<http://www.technofont.net/optimizador-de-potencia/>
- [46].<https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/solarworld/panel-solar-solarworld-sw-300/>
- [47].http://www.enserveenergy.com/wp-content/uploads/2016/10/2.-SMA_SC2500-SUNNY-CENTRAL.pdf
- [48].<http://www.lawebdelasenergiasrenovables.com/esquema-de-instalacion-de-paneles-solares-termicos-y-fotovoltaicos/>
- [49].http://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ISF/ISF05/es_IEA_ISF05_Contenidos/ISF05_CONT_R273_pic187.jpg

- [50].<http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1350-central-solartermica>
- [51].<http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2008/7/petacalco.pdf>
- [52].<https://arquigrafico.com/que-es-un-panel-solar-hibrido/>
- [53].<https://cdn.urgente24.com/sites/default/files/notas/2017/09/14/energia-solar-termica-central-torre.png>
- [54].http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1088/html/31_centrales_fototrermicas.html
- [55].<https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi8-6vc4afeAhVCZawKHWvQAB8QjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fsites.google.com%2Fsite%2Faleblogtecincin%2Fhome%2F2-electronica%2Fciclo-rankine&psig=AOvVaw2Xv0Gjb7m0UqzwN-lkD9tS&ust=1540768931808927>
- [56].https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj5gtPw4afeAhVQPq0KHdkcDaQQjRx6BAgBEAU&url=http%3A%2F%2Fdiegoparra301.blogspot.com%2F&psig=AOvVaw0x6F3mHsOUdUo_yfmfsnxF&ust=1540768974827582
- [57].<https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwij-ql46feAhUNQ60KHUYMCMsQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fes.slideshare.net%2Firisyaninacamposjime%2Fciclos-de-potencia-de-vapor-y-combinadostermodinamica&psig=AOvVaw2eOKpi-P3aoRSOkp5vzZ7O&ust=1540769351633523>