



UNIVERSIDAD MICHUACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

TESIS

**ANÁLISIS, DISEÑO Y CONTROL DE UNA CENTRAL
TERMOELÉCTRICA BASADA EN COLECTORES SOLARES**

Que para obtener el Título de:
INGENIERO ELECTRICISTA

Presenta
Elizabeth Molinero Vázquez

Asesor de Tesis
Dr. Gilberto González Avalos

Septiembre del 2009



Agradecimientos

Quiero agradecer principalmente a mi papá Luis, a mi mamá Petra, a mis hermanas Mirian Magali y Luisa y a mi hermano Marcos Antonio por todo el apoyo incondicional y cariño que me han entregado siempre y que sin el cual no hubiera podido llegar hasta donde estoy.

Expreso mi total agradecimiento a mi asesor el Dr. Gilberto González Avalos el cual me ayudo aportando sus ideas y me dio su apoyo en todo momento.

Les agradezco a todos los profesores que me ayudaron a recorrer este camino y que además compartieron conmigo todos sus conocimientos.

Mi gratitud para todos mis compañeros y amigos por su apoyo y buena onda y de manera especial a Nora, Esau, Fredy, Hugo, Jannete, Eleazar y Roger, los cuales siempre han estado de manera incondicional a mi lado.

Y por ultimo pero no menos importante, le quiero agradecer a mi novio Valentín por la paciencia y el apoyo que me ha brindado.

Dedicatoria

A mi mamá Petra, mi papá Luis, Mirian Magali, Luisa, Marcos Antonio, Sonia, Miguel, Carolina, Jaime, Valentín, Nora, Roger, Eleazar, Jannete y Edith.

A todos mis maestros.

Resumen

ANÁLISIS DISEÑO Y CONTROL DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA BASADA EN COLECTORES SOLARES

La eficiencia energética y la búsqueda de nuevas fuentes de energía han llevado a investigar aplicaciones de la energía solar para generación de energía eléctrica. Un colector solar Parabólico, junto con un ciclo de vapor para generación, pueden ser alternativas válidas de implementación para generación distribuida, sobre todo en regiones de México donde existe una alta radiación solar.

Los objetivos generales de este trabajo son mostrar que una central termoeléctrica basada en colectores solares puede tener la misma eficiencia que una central termoeléctrica convencional y demostrar teóricamente que de la eficiencia total termodinámica la mayor parte es aportada por el campo de colectores solares y el calor obtenido es gratuito.

Tomando en cuenta que el sol esta en movimiento se selecciona un sistema de seguimiento para el colector solar y obtener un funcionamiento rentable.

Como trabajo futuro esta el diseño del control de toda la central termoeléctrica y la construcción de un prototipo de un colector solar.

Contenido

Agradecimientos	ii
Dedicatoria	iii
Resumen	iv
Contenido	v
Lista de Figuras	vii
Lista de Tablas	ix
Lista de Nomenclaturas	x

Capítulo 1. Introducción 1

1.1.La Generación de Energía Eléctrica con Fuentes Renovables.....	1
1.2.Objetivos de la Tesis	1
1.3.Justificación	1
1.4.Metodología Científica	2
1.5.Organización de la Tesis	2

Capítulo 2. Los Colectores Solares 3

2.1.La energía Solar	3
2.2.Definición de un Colector Solar	5
2.3.Clasificación de Colectores Solares	5
2.3.1.Colectores de Placa Plana	5
2.3.2.Colectores Concentrados.....	6
2.3.3.Colectores Concentrados para la Conversión Térmica a Temperaturas Medias.....	6
2.3.4.Colectores Concentrados para la Conversión Térmica a Altas Temperaturas	7
2.4.Un Colector Solar como Elemento de Producción	8
2.4.1.Características y Costos	8
2.4.2.El circuito de calentamiento	11
2.4.3La Parábola como Figura geométrica en el diseño de un Colector Solar	12

Capítulo 3. Una Central termoelectrica Utilizando Colectores Solares 14

3.1.Introducción	14
3.2.Una Central Termoelectrica Convencional	16
3.2.1.Un Problema de una Central Termoelectrica Convencional	18
3.2.2.Ciclo de Recalentamiento	22

3.2.3.Un Problema de una Central Termoeléctrica con Ciclo de Recalentamiento	23
3.2.4.Ciclo Regenerativo	25
3.2.5.Un Problema de una Central Termoeléctrica con Ciclo Regenerativo	27
3.3.Una Central Termoeléctrica con Colector Solar	30
3.3.1.Un Problema de una Termoeléctrica Convencional con Colector Solar	32
3.3.2.Una Central Termoeléctrica de Ciclo de Recalentamiento con Colector Solar	...36
3.3.3.Una Central Termoeléctrica de Ciclo Regenerativo con Colector Solar	38
3.4.Características Funcionales de un Colector Solar	42
Capítulo 4. Proyecto de generación y Control de Seguimiento	46
4.1.Introduccion	46
4.2.Proyecto de Generación para una central Termoeléctrica con Colector Solar	46
4.3.Control de Seguimiento de un Colector Solar	51
4.4.Beneficios o Ventajas del Proyecto	52
4.5.Proyectos a Gran Escala	53
4.6.Disminución del CO ₂ (Dióxido de Carbono) con este Proyecto	54
4.7.Reducción del Combustible en el Generador de Vapor con Colectores Solares	55
Capítulo 5. Conclusiones	56
5.1.Coclusiones	56
5.2. Recomendaciones	57
Referencias	58

Lista de Figuras

2.1 Energía solar absorbida por la tierra y reflejada.....	4
2.2 Regiones con mayor radiación solar.....	4
2.3 Colector de Placa Plana.....	5
2.4 Colector Cilindro-Parabólico.....	7
2.5 Heliostatos.....	8
2.6 Sistema Total de un Colector Solar.....	9
2.7 Principio de la concentración de los rayos solares.....	10
2.8 Colector concentrador de superficie curva.....	12
2.9 Parábola.....	13
3.1 Central Termoeléctrica Real.....	14
3.2 Transformaciones de la energía en una Central Termoeléctrica.....	15
3.3 Planta de generación de vapor elemental.....	16
3.4 Diagrama temperatura-entropía del ciclo Rankine.....	17
3.5 Esquema de una Termoeléctrica con Datos Numéricos.....	19
3.6 Ciclo de Recalentamiento.....	22
3.7 Planta con ciclo de recalentamiento.....	23
3.8 Ciclo regenerativo con calentador de contacto directo.....	26
3.9 Planta de generación con calentador abierto.....	27
3.10 Central Termoeléctrica con Colectores Solares.....	30
3.11 Planta de generación de vapor con colector solar.....	31
3.12 Central termoeléctrica con colector solar.....	33
3.13 Planta con colector solar y ciclo de recalentamiento.....	36
3.14 Planta con colector solar y con un ciclo regenerativo.....	39
3.15 Campo solar.....	43

3.16 Estructura Portante de Acero.....	43
3.17 Partes un Colector Solar.....	44
3.18 Diseño Conceptual de un Colector Solar Cilindro Parabólico.....	45
4.1 Esquema de una central con Colector Solar.....	47
4.2 Bosquejo de la Central Termoeléctrica con Colectores Solares.....	48
4.3 Diagrama de bloques para el control del colector solar.....	51
4.3 Estados que puede alcanzar el colector solar.....	52

Lista de tablas

2.1 Características de los colectores solares.....	9
2.2 Características y costos para un colector solar.....	11
2.3 Características y costos para una planta termoeléctrica.....	11
4.1 Características generales de una central termoeléctrica con colector solar.....	47
4.2 Emisiones Según el Combustible.....	54

Lista de Nomenclaturas

Bar Se denomina bar a una unidad de presión equivalente a un millón de barias, aproximadamente igual a una atmósfera (1 Atm). Su símbolo es “bar”. La palabra bar tiene su origen en báros, que en griego significa peso.

Grados Centígrados Se denomina grados centígrados a una unidad de temperatura y su símbolo es “°C”.

Entalpía Es la cantidad de energía de un sistema termodinámico que éste puede intercambiar con su entorno, su símbolo es “H”. Por ejemplo, un simple cambio de temperatura, el cambio de entalpía por cada grado de variación corresponde a la capacidad calorífica del sistema a presión constante.

Entropía La entropía describe lo irreversible de los sistemas termodinámicos. En termodinámica, la entropía (simbolizada como S) es la magnitud física que mide parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo. Es una función de estado de carácter extensivo y su valor, en un sistema aislado, crece en el transcurso de un proceso que se dé de forma natural

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 La generación de energía eléctrica con fuentes renovables

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales e inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. Fuentes de energía renovable son la radiación solar, la atracción gravitacional de la luna y el sol, y el calor interno de la tierra. Desde tiempos inmemoriales el hombre ha desarrollado técnicas para la obtención de calor y trabajo a partir de fuentes renovables de energía.

La energía solar es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía de la tierra. Cada año la radiación solar aporta a la tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, ésta puede transformarse en otras formas de energía como la energía térmica o energía eléctrica utilizando paneles solares.

1.2 Objetivo

El objetivo de esta tesis es analizar, diseñar y controlar un sistema de generación de energía eléctrica basado en colectores solares para una central termoeléctrica.

1.3 Justificación

El sol es una fuente de energía inagotable y natural, que día con día la radiación es más fuerte es por eso que se debe aprovechar tanto en el consumo doméstico como industrial.

En el Norte y Sur de nuestro país la radiación solar es mucha es por ello que se analiza un Sistema de Generación de Energía Eléctrica Basado en Colectores Solares para aprovechar esta radiación y poder desarrollar en nuestro país una fuente de energía alterna.

1.4 Metodología Científica

La metodología a seguir es:

1. Detectar y Observar el problema. En este caso tenemos que analizar, diseñar y controlar un sistema de generación de energía eléctrica basado en colectores solares.
2. Elaborar una explicación provisional que describa de la forma más simple posible el problema. Realizar una hipótesis
3. Probar la hipótesis, esto se puede realizar mediante experimentación.
4. Demostrar la hipótesis mediante las pruebas que se realizaron.
5. Conclusiones.

1.5 Organización o Estructura de la Tesis

En el capítulo 1 se da una introducción sobre la estructura de la tesis.

En el capítulo 2 se define lo que es un colector solar, se revisarán los costos, los tamaños e instalación y se observarán sus características o propiedades.

En el capítulo 3 se analiza una central termoeléctrica utilizando colectores solares.

En el capítulo 4 se realizará un proyecto de generación de energía eléctrica con una planta termoeléctrica con colector solar y se analizará el control de seguimiento para el colector solar.

Por último en el capítulo 5 se obtendrán las conclusiones del trabajo realizado y se harán algunas recomendaciones.

CAPÍTULO 2

LOS COLECTORES SOLARES

2.1. La energía Solar

El sol es nuestro proveedor natural de calor, y cualquier parte que reciba su influencia directa, tendrá como consecuencia de ello un aumento en su temperatura original. El que existan diferencias notables entre la acción solar durante los meses invernales y los veraniegos, se debe básicamente a que los rayos solares, al incidir sobre la superficie terrestre, se apartan más o menos, en su inclinación, de la perpendicularidad ideal. Cuanto más se acerquen a esa perpendicularidad, mayor será su acción térmica.

La emisión de calor en el sol se produce por efecto del fenómeno físico conocido con el nombre de radiación, que consiste en despedir cualquier tipo de energía en forma de ondas electromagnéticas que se desplazan por el espacio en todas direcciones. Así, la tierra recibe los efectos de las ondas térmicas emitidas por la fuente solar, cuando se encuentran en su camino.

Las condiciones óptimas para valorar la energía solar recibida se dan cuando la superficie que recibe los efectos se halla perpendicular a la dirección de los rayos, o sea una situación de radiación directa.

La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por la porción de la luz que emite el sol y que es interceptada por la tierra. Hay que tener en cuenta que, para llegar hasta nosotros, los rayos solares, a una velocidad de 300,000 kilómetros por segundo, deben introducirse en la órbita terrestre y atravesar unos 150 millones de kilómetros. Durante el camino sufrirán diferentes absorciones y reflexiones que van mermando su intensidad inicial. Así cuando llegan a nuestro planeta, su valor ha disminuido. Un 30% poco más o menos del total radiado, se ha proyectado de nuevo al exterior por reflejo, y sólo el 70% que resta es absorbido por la tierra (Fig. 2.1). Esta absorción se traduce en el calentamiento de la parte afectada, en donde se producirá un aumento de temperatura.

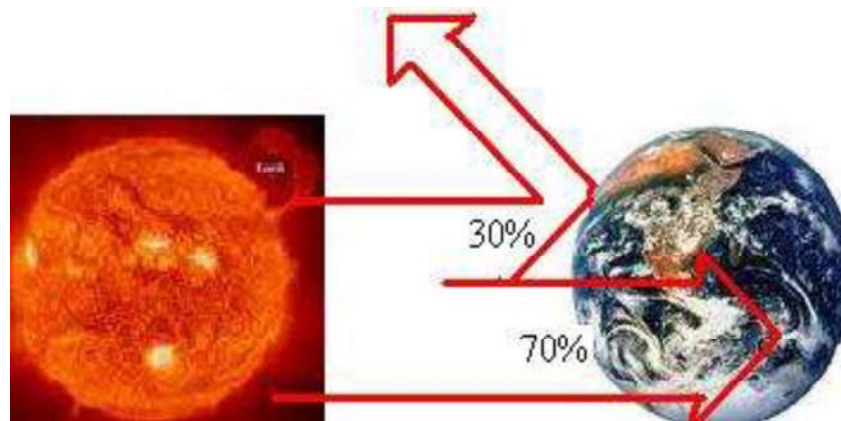


Fig. 2.1 Energía solar absorbida por la tierra y reflejada

Las regiones de mayor radiación en la República son las del norte de Sonora y Chihuahua (Fig. 2.2), que serían las más propicias para fines de instalaciones que requieran de una incidencia alta de energía solar. Existen otras dos regiones bastante definidas, una que abarca Durango, Zacatecas, Aguascalientes, la mayor parte de Guanajuato y al noroeste de Jalisco, otra que comprende una parte de Puebla y otra bastante amplia de Oaxaca. Además, más de la mitad del país recibe 400 ly/día en el año (donde, 1 ly= 1 Langley=1 cal/cm²=4.186 J/cm²), lo que significa que en México el uso de la energía solar representa una fuente importante de energéticos para el futuro.



Fig. 2.2 Regiones con mayor radiación solar

2.2. Definición de un Colector Solar

Un colector solar, también llamado panel solar térmico, es un dispositivo que sirve para aprovechar la energía de la radiación solar, transformándola en energía térmica y así elevar la temperatura de un fluido para usos domésticos, industriales o comerciales.

2.3. Clasificación de Colectores Solares

Los colectores solares pueden ser de dos tipos principales: los de placa plana y los de concentración.

2.3.1 Colectores de Placa Plana

Los colectores solares de placa plana son los más comunes, Figura 2.3. Los colectores solares planos pueden ser diseñados y utilizados en aplicaciones donde se requiere que la energía sea liberada a bajas temperaturas, debido a que la temperatura de operación de este tipo de colectores, difícilmente pasa los 100°C.

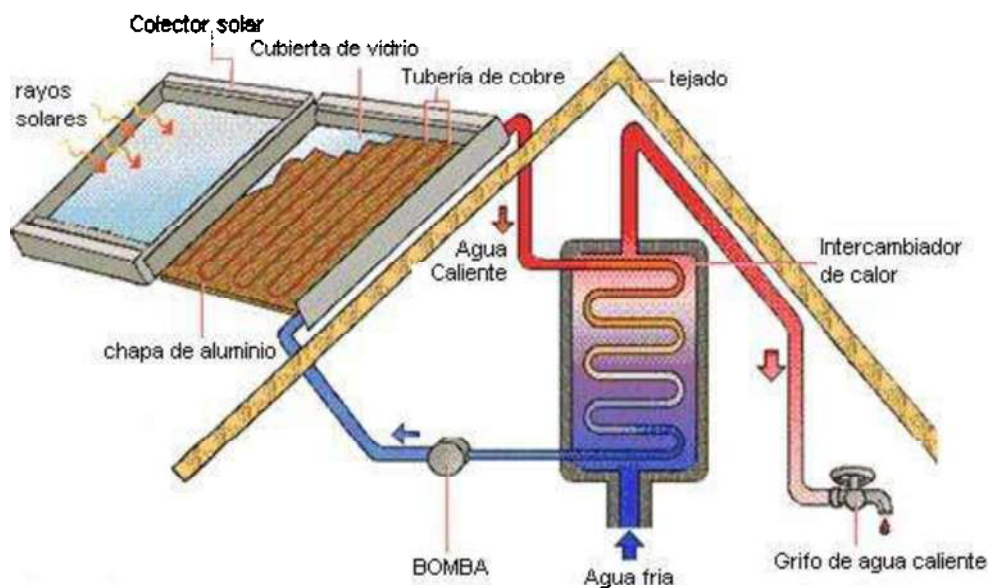


Figura 2.3 Colector de Placa Plana

2.3.2 Colectores Concentrados

Existen muchas aplicaciones, sobre todo a nivel industrial, donde se necesita que la energía sea liberada a altas temperaturas. En consecuencia, para obtener temperaturas altas (arriba de los 100°C), se hace necesario incrementar la intensidad de energía solar. Esto se puede lograr disminuyendo el área por donde ocurren las pérdidas de calor, e interponiendo un dispositivo óptico entre la fuente de radiación (sol) y la superficie absorbedora, que debe ser pequeña comparada con la del dispositivo óptico. Esta es precisamente la función que desempeñan los colectores concentradores. De esta manera, en el absorbedor, podemos tener densidades de energía que van desde 1.5 hasta varios miles de veces la radiación solar que llega al sistema óptico.

2.3.3 Colectores Concentrados para la Conversión Térmica a Temperaturas Medias

Para obtener temperaturas superiores a los 100°C se debe concentrar la radiación solar, para lo que se pueden utilizar lentes o espejos. Canalizando la radiación hacia un punto o una superficie llamado “foco”, este eleva la temperatura muy por encima de la alcanzada en los colectores planos.

En la actualidad la solución más favorable para una concentración tipo medio (temperaturas menores de 400°C) es el colector cilindro-parabólico, consiste en un espejo cilindro-parabólico, Figura 2.4, que refleja la radiación solar directa concentrándola sobre un tubo receptor colocado en línea focal de la parábola. Esta radiación concentrada provoca que el fluido que circula por el interior del tubo se caliente, transformando así la radiación solar en energía térmica.



Figura 2.4 Colector Cilindro-Parabólico

2.3.4 Colectores Concentrados para la Conversión Térmica a Altas Temperaturas

Para conversiones térmicas superiores a los 400°C , encaminadas a la producción de energía eléctrica a gran escala, es necesario concentrar la radiación solar mediante paraboloides o un gran número de espejos enfocados hacia un mismo punto. El sistema más extendido es el receptor central, formado por un campo de espejos orientables llamados “heliostatos”, Figura 2.5, que concentran la radiación solar sobre una caldera situada en lo alto de una torre.

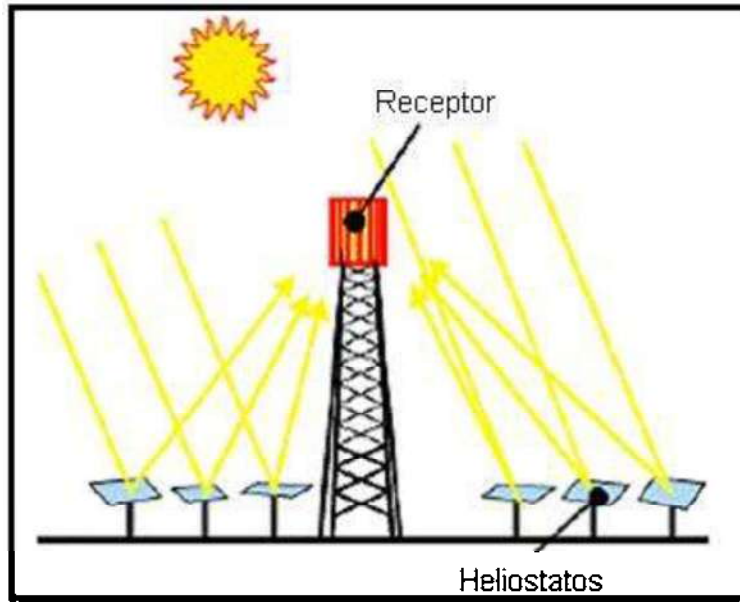


Figura 2.5 Heliostatos

2.4. Un Colector Solar como Elemento de Producción de Vapor

Las instalaciones de media temperatura más representativas, son utilizadas generalmente para la producción de vapor de cara a su aplicación a procesos industriales, o incluso para la generación de energía eléctrica. Estas instalaciones constan de un conjunto de colectores de concentración, generalmente de forma cilindro-parabólica que recogen la energía solar y la transmiten a un fluido (aceite térmico) en forma de calor. Este fluido se calienta y transporta dicha energía calorífica por medio de un circuito primario, hasta una caldera en donde es transferida a otro fluido que circula por un circuito secundario. Este fluido (generalmente agua) se convierte en vapor a gran temperatura y es enviado a una turbina para generar energía eléctrica, que puede ser utilizada para alimentar procesos industriales. Las instalaciones de este tipo aprovechan la energía solar a temperaturas comprendidas entre los 100° y 400°C.

2.4.1 Características y Costos

Los colectores parabólicos tienen, entre otras, las siguientes características: están orientados directamente al sol; son los colectores que presentan mayor eficiencia; tienen radios de concentración de alrededor de 600 a 2000; pueden alcanzar temperaturas de hasta 400C°. Este tipo de sistema utiliza como fluido aceite o vapor de agua.

La palabra colector se aplica al sistema total incluyendo el absorbedor y el concentrador, figura 2.6. El receptor es donde la radiación se absorbe y se convierte en alguna otra forma de energía; esto incluye el absorbedor, que esta asociado con la cubierta y aislamientos. El concentrador, o sistema óptico, es la parte del colector que direcciona la radiación sobre el receptor. La apertura del concentrador es la abertura a través de la cual la radiación solar entra en el concentrador.

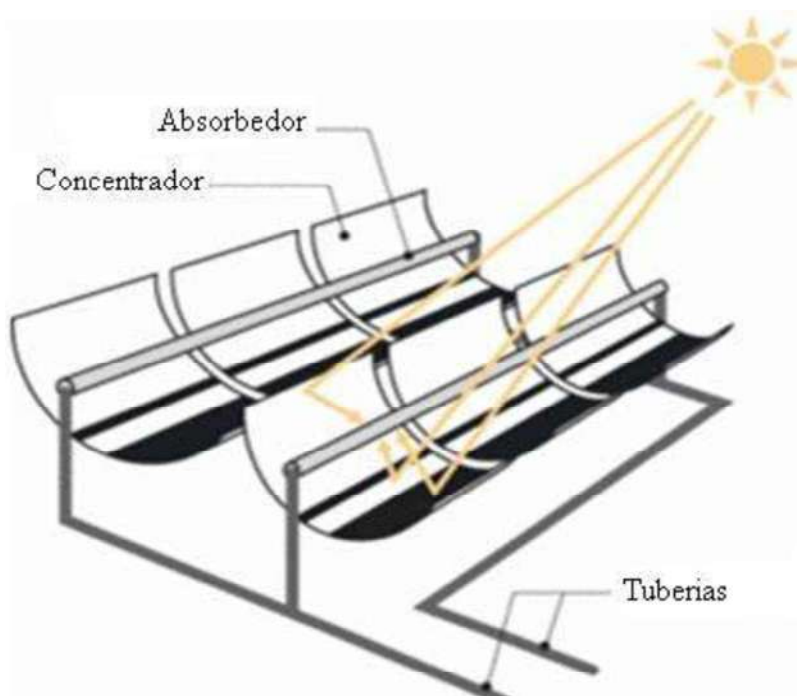


Figura 2.6 Sistema Total de un Colector Solar

La tabla 2.1 muestra las características de los colectores solares cilindro-parabólico, así como sus dimensiones y peso.

Características del Colector Solar	
Distancia Focal	1.5m
Radio del tubo absorbedor	3.5cm
Área de apertura	124.8m ²
Longitud del colector	24m
Número de módulos por unidad	2
Número de facetas de vidrio	64
Número de tubos absorbentes	(4.1m) 6
Peso de la estructura	20Kg

Tabla 2.1 Características de los colectores solares

El colector cilindro-parabólico requiere una superficie reflectante curva para recibir la radiación y proyectar todos los rayos captadores sobre un punto determinado, en el cual se reunirán, concentrándose las calorías generadas. Como puede verse en la figura 2.7, en un panel curvado los rayos solares que inciden en su superficie por efecto de la curvatura son proyectados hacia la parte central del colector. Así, toda la energía captada por la placa absolvedora se reunirá sobre un punto del panel con lo que alcanzará una temperatura elevada, aproximadamente igual a la suma de las temperaturas parciales que coinciden en aquella parte. Esta temperatura total depende del dispositivo adoptado, del tamaño que ofrezca la superficie del colector y de la curvatura que desarrolla tal superficie.

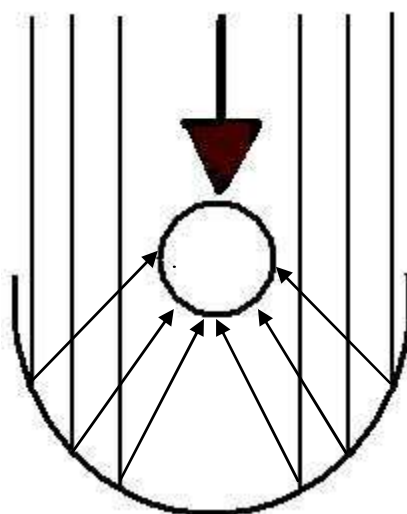


Fig. 2.7 Principio de la concentración de rayos solares

Para proyectar mejor las radiaciones, la superficie receptora suele ser de metal bruñido, acero inoxidable, espejo sintético o material similar, capaz de comportarse a manera de espejo.

De la potencia calorífica que puede lograrse por este medio, da una idea el hecho de que los colectores curvados son susceptibles de alcanzar los 400°C. Por ello, los modelos concentradores son aconsejables en aquellos casos que requieran contar con una poderosa fuente de calor. Sin embargo, su excepcional rendimiento calórico viene condicionado por toda una serie de inconvenientes de orden práctico.

Las tablas 2.2 y 2.3 muestran algunas características y costos para colectores solares.

	Colectores Cilindro-Parabólicos
Tamaño (MW)	30-80
Temperatura de Operación	400°C
Estado Comercial	Comercial
Riesgo Tecnológico	Bajo
Inversión (€/kW)	4.800

Tabla 2.2 Características y costos para un colector solar.

Límite primas	50MW, tecnología HTF aceite
Superficie	250ha
Campo solar	488.320m ² área apertura (224lazos de 4 colectores)
Bloque de potencia	49.5 MW _{netos}
Producción anual	3100horas
Inversión	240 MM €
Recursos	Agua: 660.000m ³ /año Gas: 7.000.000m ³ /año

Tabla 2.3 Características y costos para una planta termoeléctrica.

2.4.2 El circuito de calentamiento

El circuito de calentamiento de un colector de estas características es siempre rectilíneo, compuesto por un conducto adecuado que recorre la longitud del panel solar, tal como puede verse en el esquema de la figura 2.8. De concepción muy parecida a los colectores planos de tubo de calor, el agua que penetra fría o templada por la boca de entrada, recibe durante todo su recorrido la radiación calórica que emiten las paredes curvas de la superficie receptora. La tubería del agua, por efecto de su revestimiento selectivo de color negro, actúa de absorbedor y va calentando el líquido circulante a medida que avanza. Así, cuando llega a la boca de salida ha logrado alcanzar la temperatura óptima prevista para el rendimiento del colector.

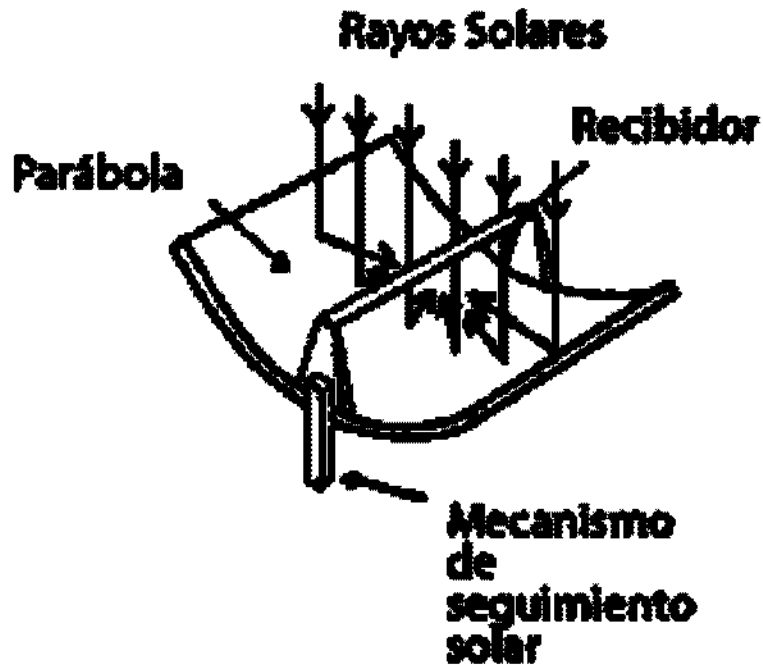


Fig. 2.8 Colector concentrador de superficie curva.

2.4.3 La Parábola Como Figura Geométrica en el Diseño de un Colector Solar

La superficie de captación del panel es la de una parábola, figura geométrica cuyos puntos equidistan de un punto fijo F (figura 2.9), que trasladado en sentido horizontal a toda la longitud del colector, señala la posición del tubo de calentamiento, en donde confluirán todas la radiaciones reflejadas por la superficie parabólica.

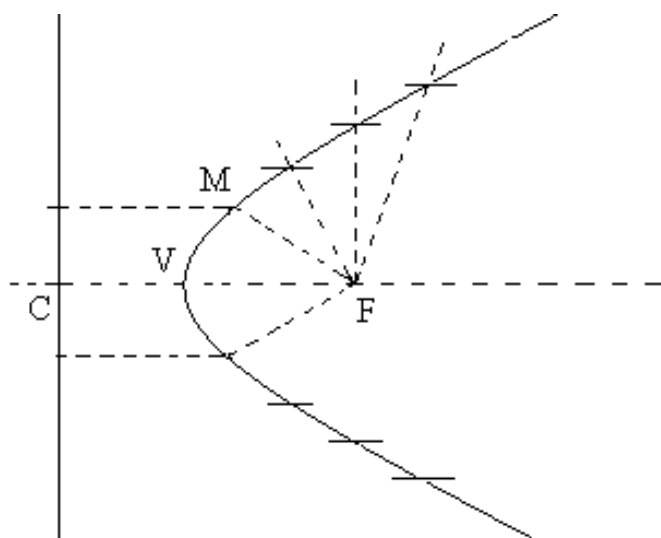


Fig. 2.9 Parábola

La pantalla solar parabólica basada en los principios de reflexión y concentración de las radiaciones solares sobre el eje focal del colector, busca el mejor aprovechamiento de la insolación incidente, utilizando materiales de gran poder reflectante para la superficie parabólica y de elevada capacidad absorbente para los conductores que tienen la misión de transformar la energía radiante en energía calórica.

El fundamento principal de este tipo de colectores se basa en la concentración de los rayos solares sobre el circuito de agua, con lo que conseguirá una variación favorable de la temperatura. Asimismo, debe mantenerse la perpendicularidad del eje focal a la dirección de dichos rayos, regulando la orientación de la pantalla para adaptarla a esta necesidad, que irá cambiando conforme avance el día.

CAPÍTULO 3

UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA UTILIZANDO COLECTORES SOLARES

3.1 Introducción

Una central termoeléctrica es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. En la figura 3.1 se muestra un esquema real de una central termoeléctrica convencional.

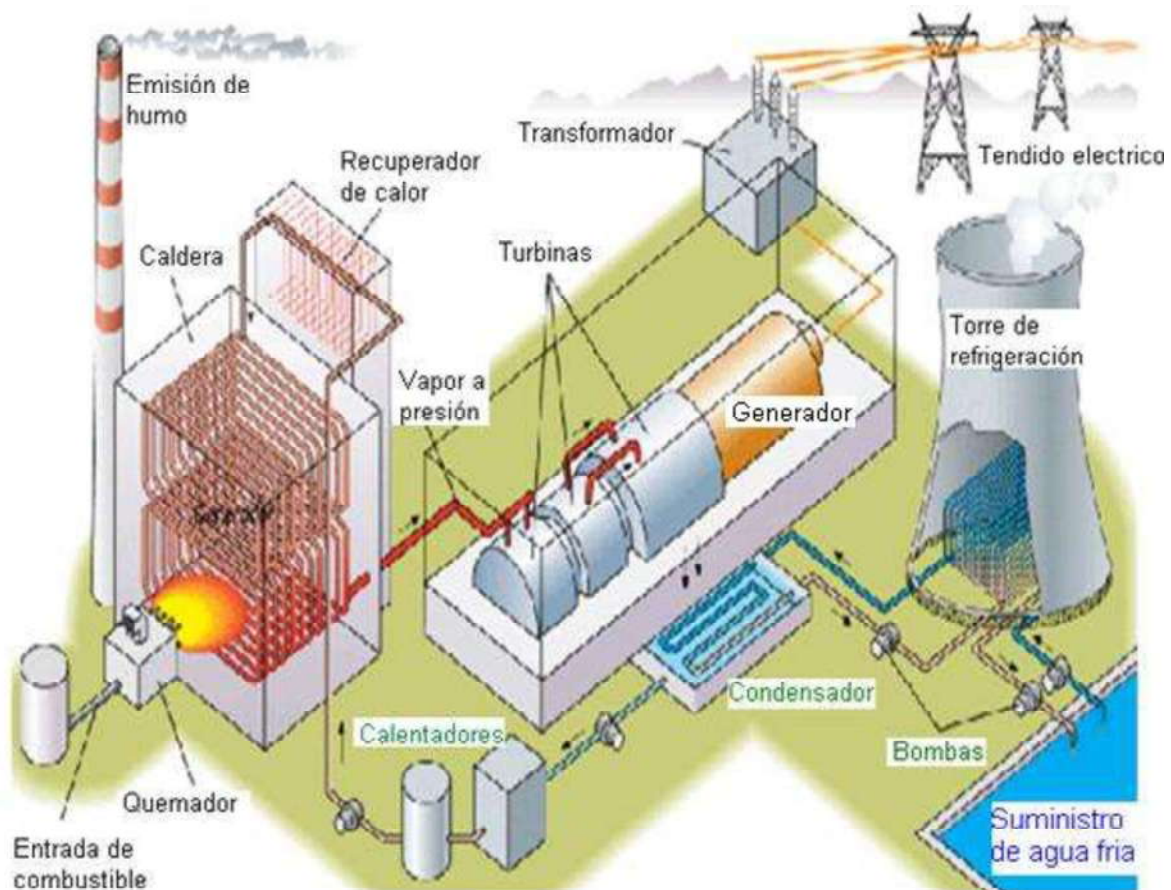


Figura 3.1 Central Termoeléctrica Real

La energía eléctrica se produce como resultado de una serie de transformaciones de energía, los cuales se realizan dentro de una central, a partir de una energía disponible, que para el caso de las termoeléctricas, es la energía química almacenada en un combustible, (figura 3.2)

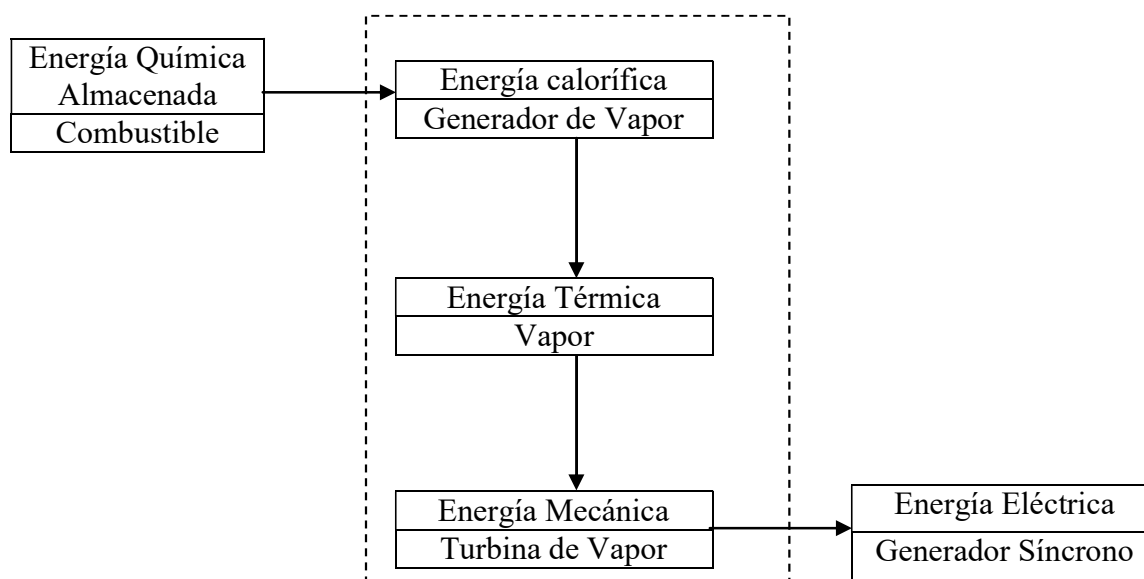


Figura 3.2 Transformaciones de Energía en una Central Termoeléctrica

De la figura 3.2, según las transformaciones de energía que se efectúan en este tipo de centrales, se observa lo siguiente:

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.

Al producirse la combustión ya se tiene la primera transformación de energía, es decir, que la energía química del combustible se transforma en calor (energía calorífica) en la flama y en los gases calientes producto 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 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: la producción de energía eléctrica.

Independientemente de cual sea el combustible fósil que utilicen, el esquema de funcionamiento de todas las centrales termoeléctricas es prácticamente el mismo. Las únicas diferencias consisten en el distinto tratamiento previo que sufre el combustible antes de ser inyectado en la caldera y en el diseño de los quemadores de la misma, que varían según sea el tipo de combustible utilizado.

3.2 Una Central Termoeléctrica Convencional

La planta de generación de vapor ideal aparece en la figura 3.3, se puede analizar mediante el ciclo Rankine, cuyo diagrama temperatura-entropía aparece en la figura 3.4.

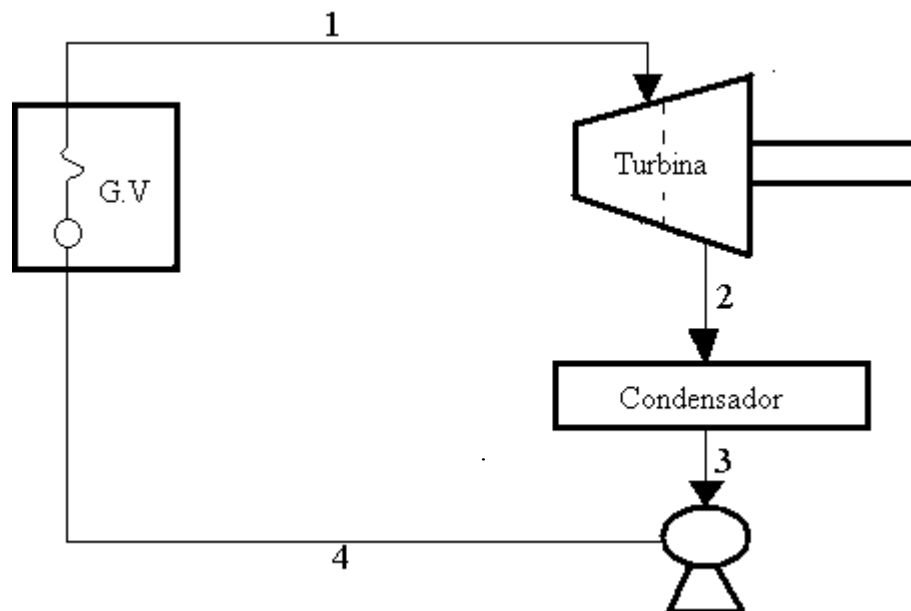


Figura 3.3 Planta de generación de vapor elemental

El vapor saturado o sobrecalentado por la caldera a una presión P_1 y temperatura T_1 es suministrado a la turbina, en donde se expande isoentrópicamente hasta la presión P_2 donde tenemos vapor húmedo.

En el condensador se transforma el vapor húmedo isobárica a isotérmicamente, en líquido 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 $P_4=P_1$, un líquido saturado se bombea isoentrópicamente hasta alcanzar la presión P_4 .

El líquido comprimido es suministrado a la caldera, en donde se calienta primero hasta su temperatura de saturación correspondiente a la presión P_1 , y luego se evapora hasta transformarse finalmente en vapor saturado seco.

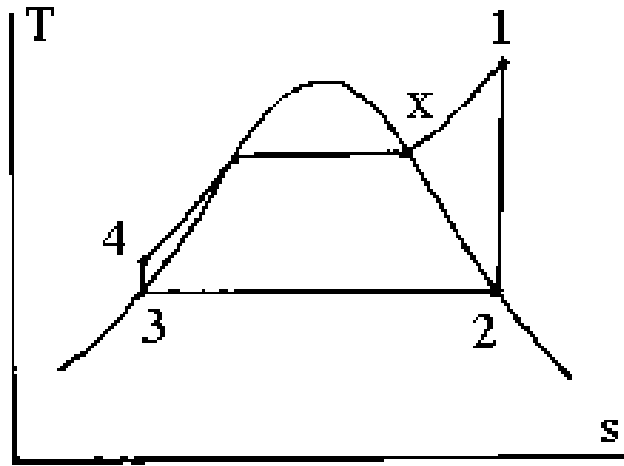


Figura 3.4 Diagrama temperatura-entropía del ciclo Rankine

La eficiencia del ciclo Rankine ideal, puede obtenerse de la definición original de eficiencia.

$$\eta = \frac{\text{Trabajo neto}}{\text{Trabajo entregado al sistema}} \quad (3.1)$$

El trabajo desarrollado por la turbina, despreciando diferencias de energía cinética y potencial es:

$$w_t = h_1 - h_2 \text{ por unidad de masa} \quad (3.2)$$

El trabajo que requiere la bomba es:

$$w_b = h_4 - h_3 \quad (3.3)$$

El trabajo neto es:

$$w_N = w_t - w_b \quad (3.4)$$

Por otro lado, la energía por unidad de masa que toma el agua en la caldera es:

$$Q = h_1 - h_4 \quad (3.5)$$

Entonces la eficiencia será:

$$\eta = \frac{w_N}{Q} = \frac{w_t - w_b}{Q} \quad (3.6)$$

$$\eta = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)} \quad (3.7)$$

La diferencia de entalpía en el proceso isoentrópico 3-4 (bomba) puede calcularse mediante la expresión:

$$w_b = h_4 - h_3 = \int_3^4 v dP = v_3(P_4 - P_3) \quad (3.8)$$

$$w_b = v_3(P_4 - P_3) \quad (3.9)$$

Esto es considerando incompresible al líquido a volumen constante.

El trabajo requerido por la bomba es generalmente muy pequeño comparado con el trabajo desarrollado por la turbina.

$$w_t \gg w_b$$

De manera que la expresión (3.7) generalmente se simplifica así:

$$\eta = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_4} \quad (3.10)$$

3.2.1 Un Problema de una Central Termoeléctrica Convencional

Se tiene una central termoeléctrica en la que el vapor entra a la turbina sobrecalentado con una presión de 30 bar y temperatura de 300°C, la presión en el condensador es de 0.1 bar. Calcular la eficiencia (η), calidad del vapor (X) y trabajo desarrollado por la turbina (w_t).

El esquema se muestra en la figura 3.5

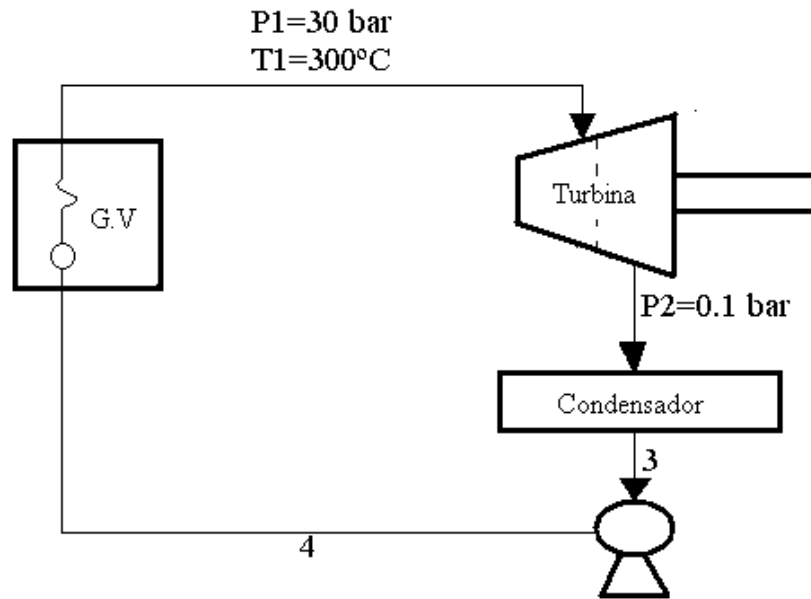


Figura 3.5 Esquema de una termoelectrica con datos numéricos.

De las tablas de vapor obtenemos:

$$P_1 = 30 \text{ bar}$$

$$P_2 = 0.1 \text{ bar}$$

$$T_1 = 300^\circ\text{C}$$

$$h_{f2} = 191.83 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_1 = 2992.35 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{fg2} = 2392.8 \text{ KJ/Kg}$$

$$S_1 = 6.5353 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$s_{f2} = 0.6493 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$s_{g2} = 8.1502 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$v_{f3} = 1.0102 \text{ cm}^3/\text{gr}$$

Donde

h_1 es la entalpía del valor al salir de la caldera y entrar a la turbina, se consideran nulas la pérdidas de la tubería que las une.

h_2 es la entalpía del vapor al salir de la turbina.

h_3 es la entalpía del líquido, normalmente saturado al salir del condensador.

h_4 es la entalpía del líquido comprimido al entrar a la caldera.

Para este caso:

$$h_1 = 2992.35 \text{ KJ/Kg}$$

En la turbina el proceso es isoentrópico.

$$S_1 = S_2 = S_{f_2} + X S_{fg_2}$$

Despejando la calidad nos queda:

$$X = \frac{S_1 - S_{f_2}}{S_{fg_2} - S_{f_2}}$$

Sustituyendo valores

$$X = \frac{6.5353 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} - 0.6493 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}}{8.1502 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} - 0.6493 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}}$$

$$X = 0.7847$$

La entalpía del vapor al salir de la turbina se obtiene de:

$$h_2 = h_{f_2} + X h_{fg_2}$$

$$h_2 = 191.83 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} + (0.7847)(2392.8 \text{ KJ/Kg} \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}})$$

$$h_2 = 2069.46 \text{ KJ/Kg}$$

La entalpia que sale del condensador

$$h_3 = h_{f_2} = 191.83 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$\text{Como } v_{f_3} = 1.0102 \frac{\text{cm}^3}{\text{gr}}$$

De la ecuación (3.9) sustituimos valores y obtenemos el trabajo que desarrolla la bomba:

$$w_b = 3.0204 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Para encontrar el trabajo desarrollado por la turbina sustituimos valores en la ecuación (3.2) y encontramos:

$$w_t = 922.89 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}}$$

De la ecuación (3.4) encontramos el trabajo neto:

$$w_N = 919.8696 \frac{kJ}{kg}$$

La entalpía del líquido comprimido al entrar a la caldera:

$$h_4 = h_3 + w_b$$

Sustituyendo valores nos queda:

$$h_4 = 194.8504 \frac{KJ}{Kg}$$

El calor que se le inyecta al generador de vapor:

$$Q = h_1 - h_4$$

$$Q = 2992.35 \frac{KJ}{Kg} - 194.8504 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q = 2797.4996 \frac{KJ}{Kg}$$

La potencia a la salida:

$$P = w_N \dot{m}$$

donde,

$\dot{m}$ es el flujo de vapor

P = potencia de salida

Por lo tanto la potencia de salida es:

$$P = 919.8696 \frac{kJ}{kg} * 0.00722 \frac{kg}{seg}$$

$$P = 6.6414KW$$

La eficiencia termodinámica se determina sustituyendo valores en (3.6), lo cual da,

$$\eta = 0.328 = 32.8\%$$

3.2.2 Ciclo de Recalentamiento.

Se llama así al ciclo en el cual, el vapor después de haber pasado por parte de la turbina, se extrae de la misma para llevarse al generador de vapor y eliminar la humedad recalentándose a presión constante, el arreglo queda como se muestra en la figura 3.6.

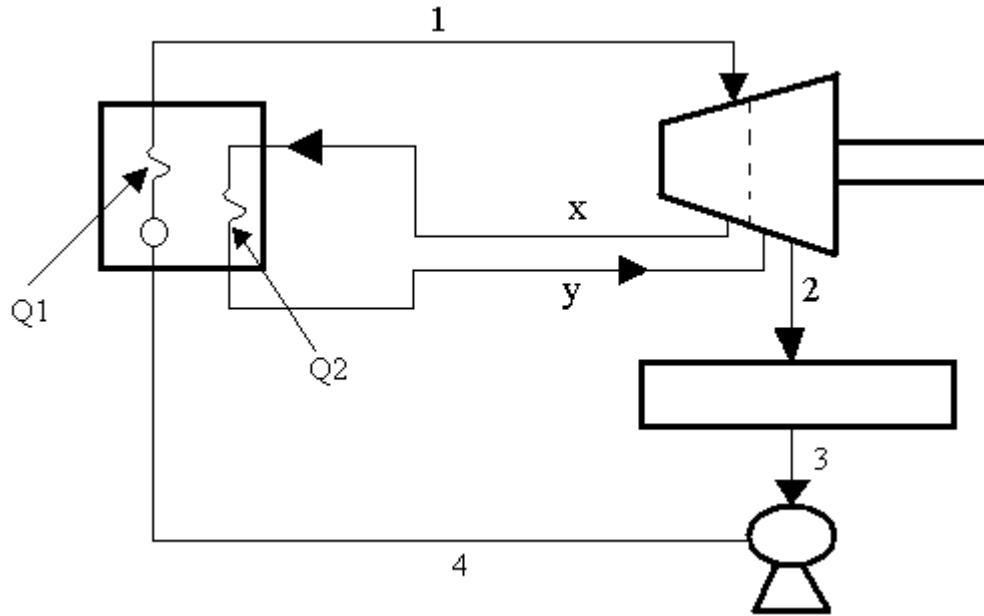


Fig. 3.6 Ciclo de Recalentamiento

La eficiencia, es la energía que se entrega a la turbina respecto a la que recibe el ciclo, esto es:

$$\eta = \frac{(h_1 - h_x) + (h_y - h_2) - w_b}{Q_1 + Q_2} \quad (3.11)$$

donde,

Q_1 es el calor que absorbe el agua en la caldera.

Q_2 es el calor que absorbe el vapor en el recalentador.

pero

$$Q_1 = h_1 - h_4 \text{ Por unidad de masa}$$

$$Q_2 = h_y - h_x$$

entonces,

$$\eta = \frac{(h_1 - h_x) + (h_y - h_2) - w_b}{(h_1 - h_4) + (h_y - h_x)} \quad (3.12)$$

3.2.3 Un Problema de una Termoeléctrica con Ciclo de Recalentamiento

Considerar una central termoeléctrica en la que el vapor se extrae a una presión de 5 bar y se recalienta a 300°C antes de regresar a la turbina. Calcular la calidad del vapor (x), el trabajo desarrollado por la turbina (w_b) y la eficiencia térmica (η). En el esquema de esta planta se muestra la figura 3.7.

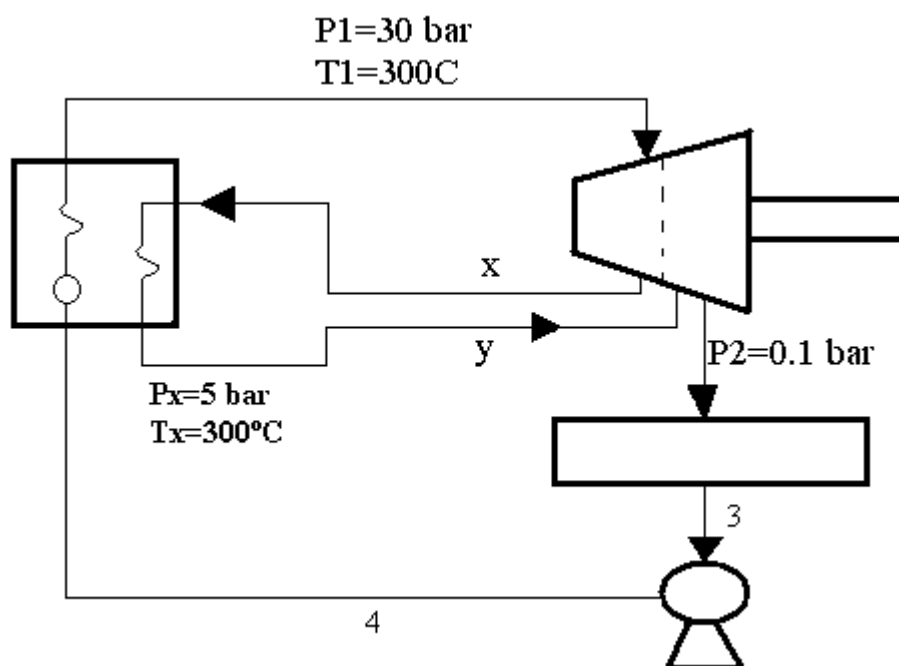


Figura 3.7 Planta con ciclo de recalentamiento

De tablas de vapor obtenemos:

$P_1 = 30 \text{ bar}$ $T_1 = 300^\circ\text{C}$ $S_1 = 6.5353 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$ $h_1 = 2992.35 \text{ KJ/Kg}$	$P_x = 5 \text{ bar}$ $h_{f_x} = 640.23 \text{ KJ/Kg}$ $h_{fg_x} = 2108.5 \text{ KJ/Kg}$ $S_{f_x} = 1.8607 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$ $S_{g_x} = 6.8212 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$	$P_2 = 0.1 \text{ bar}$ $h_{f_2} = 191.83 = h_4$ $h_{fg_2} = 2392.8 \text{ KJ/Kg}$ $S_{f_2} = 0.6493 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$ $S_{g_2} = 8.1502 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$	$P_y = 5 \text{ bar}$ $t_y = 300^\circ\text{C}$ $h_y = 3064.25 \text{ KJ/Kg}$ $S_y = 7.4586 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$
--	--	--	---

Calculamos la calidad del vapor que sale de la turbina y entra al generador para recalentarse:

$$X_x = \frac{S_1 - S_{f_x}}{S_{g_x} - S_{f_x}}$$

$$X_x = \frac{6.5353 \frac{KJ}{Kg^oK} - 1.8607 \frac{KJ}{Kg^oK}}{6.8212 \frac{KJ}{Kg^oK} - 1.8607 \frac{KJ}{Kg^oK}}$$

$$X_x = 0.9423$$

La entalpía del vapor que sale de la turbina para recalentarse es:

$$h_x = hf_x + X_x hf_{g_x}$$

$$h_x = 640.23 \frac{KJ}{Kg} + (0.9423) \left(2108.5 \frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$h_x = 2627.06 \frac{KJ}{Kg}$$

Para la etapa 2:

La calidad del vapor que sale de la turbina y entra al condensador:

$$X_2 = \frac{S_y - S_{f_2}}{S_{g_2} - S_{f_2}}$$

$$X_2 = \frac{7.4586 \frac{KJ}{Kg^oK} - 0.6493 \frac{KJ}{Kg^oK}}{8.1502 \frac{KJ}{Kg^oK} - 0.6493 \frac{KJ}{Kg^oK}}$$

$$X_2 = 0.9077$$

La entalpía del vapor que entra al condensador es:

$$h_2 = hf_2 + X_2 hf_{g_2}$$

$$h_2 = 191.83 \frac{KJ}{Kg} + (0.9077) \left(2392.8 \frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$h_2 = 2363.77 \frac{KJ}{Kg}$$

El trabajo desarrollado por la turbina se calcula de:

$$w_t = (h_1 - h_x) + (h_y - h_2)$$

$$w_t = \left(2992.35 \frac{KJ}{Kg} - 2627.06 \frac{KJ}{Kg} \right) + \left(3064.25 \frac{KJ}{Kg} - 2363.77 \frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$w_t = 1065.76 \frac{kJ}{kg}$$

El trabajo desarrollado por la bomba se calcula con la ecuación (3.9)

$$w_b = 3.0204 \frac{kJ}{kg}$$

El calor que se le inyecta al generador de vapor se obtiene de:

$$Q = (h_1 - h_4) + (h_y - h_x)$$

$$Q = \left(2992.35 \frac{KJ}{Kg} - 191.83 \frac{KJ}{Kg} \right) + \left(3064.25 \frac{KJ}{Kg} - 2627.06 \frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$Q = 3237.71 \frac{KJ}{Kg}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (3.12) obtenemos que la eficiencia de la planta es:

$$\eta = 0.3287 = 32.87\%$$

3.2.4 Ciclo Regenerativo

La idea se básica de este ciclo es extraer parte del vapor que ya ha sido usado en la turbina, pero a una presión superior a la que opera el condensado, y usarlo para calentar el agua de alimentación a la caldera, de esta forma se recupera la energía que libera el vapor extraído al condensarse, es decir, disminuye el calor rechazado en el condensador. La figura 3.8 muestra un arreglo donde se tiene un calentador de contacto directo.

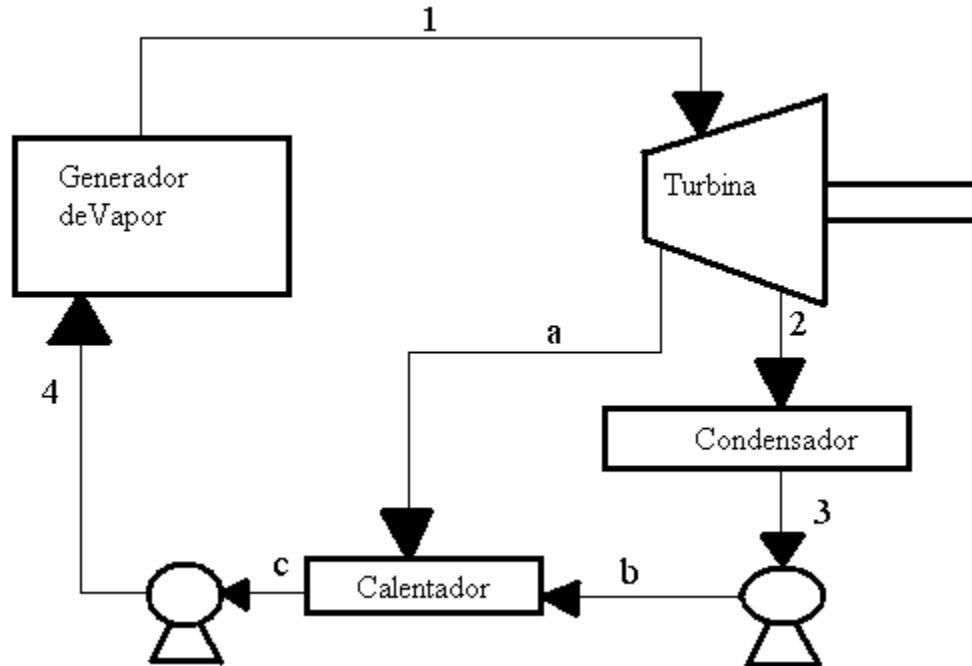


Figura 3.8 Ciclo regenerativo con calentador de contacto directo.

En este caso el vapor de extracción y el condensador se mezclan en un calentador abierto para lograr un líquido saturado. Las presiones del vapor del líquido saturado y del condensador deben ser las mismas, por lo que es necesario otra bomba para introducir el agua a la caldera. Para este caso el flujo de masa de vapor en la extracción se determina mediante un balance de masa y energía considerando las diferencias de energía cinética y potencial se tiene:

$$\begin{aligned} m_b h_b + m_a h_a &= m_c h_c \\ m_a + m_b &= m_c \end{aligned} \quad (3.11)$$

pero

$$m_c = m_1 \text{ y } m_b = m_c - m_a$$

Sustituyendo valores en la expresión (3.11).

$$\begin{aligned} (m_c - m_a) h_b + m_a h_a &= m_1 h_c \\ m_1 h_b - m_a h_b + m_a h_a &= m_1 h_c \\ m_a (h_a - h_b) &= m_1 h_c - m_1 h_b = m_1 (h_c - h_b) \\ m_a &= \frac{m_1 (h_c - h_b)}{h_a - h_b} \end{aligned} \quad (3.12)$$

La expresión (3.12) se puede escribir de la siguiente forma:

$$\frac{m_a}{m_1} = \frac{h_c - h_b}{h_a - h_b}$$

Pero también se tiene:

$$h_b = h_3 = h_{f2} \quad y \quad h_c = h_{fa}$$

Entonces:

$$\frac{m_a}{m_1} = \frac{h_{fa} - h_{f2}}{h_a - h_{f2}} \quad (3.13)$$

La eficiencia del ciclo es:

$$\eta = \frac{m_1(h_1 - h_a) + (m_1 - m_a)(h_a - h_2) - w_b}{m_1(h_1 - h_4)} \quad (3.14)$$

$$\eta = \frac{\left((h_1 - h_a) + \left(1 - \frac{m_a}{m_1}\right)(h_a - h_2) \right) - w_b}{(h_1 - h_4)}$$

3.2.5 Un Problema de una Termoeléctrica con Ciclo Regenerativo

Considerar una planta de generación que se muestra en la figura 3.9, donde la presión y temperatura a la turbina son respectivamente 30 bar y 300°C, consta de una extracción que alimenta a un calentador abierto, la presión de la extracción es de 5 bar y la presión en el condensador es de 0.1 bar.

Determinar, la eficiencia (η), calidad del vapor (X) y trabajo desarrollado por la turbina (w_t).

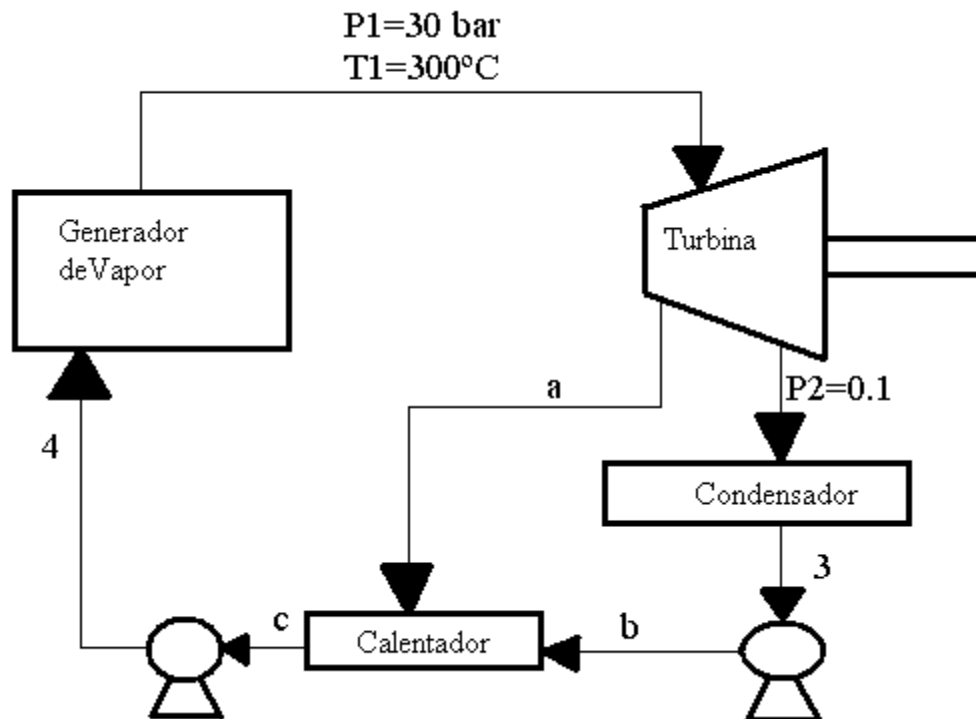


Figura 3.9 Planta de generación con calentador abierto.

De las tablas de vapor se obtiene:

$P_1 = 30 \text{ bar}$	$P_a = 5 \text{ bar}$	$P_2 = 0.1 \text{ bar}$
$T_1 = 300^\circ\text{C}$	$h_{fa} = 640.23 \text{ KJ/Kg}$	$h_{f2} = 191.83 \text{ KJ/Kg}$
$h_1 = 2992.35 \text{ KJ/Kg}$	$h_{fga} = 2108.5 \text{ KJ/Kg}$	$h_{fg2} = 2392.8 \text{ KJ/Kg}$
$S_1 = 6.5353 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$	$S_{fa} = 1.8607 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$	$S_{f2} = 0.6493 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$
	$S_{ga} = 6.8212 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$	$S_{g2} = 8.1502 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$

$$S_1 = S_a = S_{fa} + X_a S_{fga}$$

Despejando la calidad queda:

$$X_a = \frac{S_1 - S_{fa}}{S_{ga} - S_{fa}}$$

Sustituyendo valores

$$X_a = \frac{6.5353 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} - 1.8607 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}}{6.8212 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} - 1.8607 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}}$$

$$X_a = 0.9423$$

La entalpía del vapor que sale de la turbina y entra al calentador se obtiene de:

$$h_a = h_{fa} + X_a h_{fga}$$

$$h_a = 640.23 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} + (0.9423)(2108.5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}})$$

$$h_a = 2627.06 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

La calidad del vapor que sale de la turbina y entra al condensador:

$$S_1 = S_2 = S_{f2} + X_2 S_{fg2}$$

Despejando la calidad nos queda:

$$X_2 = \frac{S_1 - S_{f2}}{S_{g2} - S_{f2}}$$

Sustituyendo valores

$$X_2 = \frac{6.5353 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K} - 0.6493 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K}}{8.1502 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K} - 0.6493 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K}}$$

$$X_2 = 0.7847$$

La entalpía que sale de la turbina y entra al condensador es:

$$h_2 = hf_2 + X_2 hfg_2$$

$$h_2 = 191.83 \frac{KJ}{Kg} + (0.7847)(2392.8 \frac{KJ}{Kg})$$

$$h_a = 2069.46 \frac{KJ}{Kg}$$

Como $vf_3 = 1.0102 \frac{cm^3}{gr}$

De la ecuación (3.9) sustituimos valores y obtenemos el trabajo que desarrolla la bomba:

$$w_b = 3.0204 \frac{kJ}{kg}$$

Para encontrar el trabajo en la turbina necesitamos conocer el flujo de vapor y este lo podemos encontrar sustituyendo valores en la fórmula (3.13).

$$\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_1} = 0.1841$$

El trabajo en la turbina es:

$$w_t = (h_1 - h_a) + \left(1 - \frac{m_a}{m_1}\right)(h_a - h_2) \quad (3.15)$$

Sustituyendo valores en la ecuación (3.15), el trabajo en la turbina queda:

$$w_t = 820.2358 \frac{KJ}{Kg}$$

Sustituimos valores en la ecuación (3.14) para encontrar la eficiencia, y obtenemos que:

$$\eta = 0.3474 = 34.74\%$$

Como se puede observar la eficiencia aumenta con respecto al ciclo con recalentamiento y a la planta convencional, pero implica una inversión mas ya que estaríamos invirtiendo en el calentador.

3.3 Una Central Termoeléctrica con Colector Solar

En una central eléctrica de colectores solares cilindro-parabólicos los espejos del campo solar se encargan de concentrar la radiación solar incidente en un tubo absorbedor ubicado en la línea focal del colector (la radiación concentrada es 80 veces mas grande que la radiación original). Por los tubos circula un líquido portador de calor (circuito cerrado) que se calienta hasta alcanzar 400°C debido a la radiación solar concentrada. El líquido caliente se bombea hacia un bloque central de la planta. En este bloque el líquido caliente circula a través de intercambiadores de calor. De esta manera se genera vapor de agua.

Al igual que en centrales eléctricas convencionales, el vapor acciona una turbina acoplada a la flecha de un generador eléctrico. En la figura 3.10 se muestra el diagrama de una central termoeléctrica con colector solar.

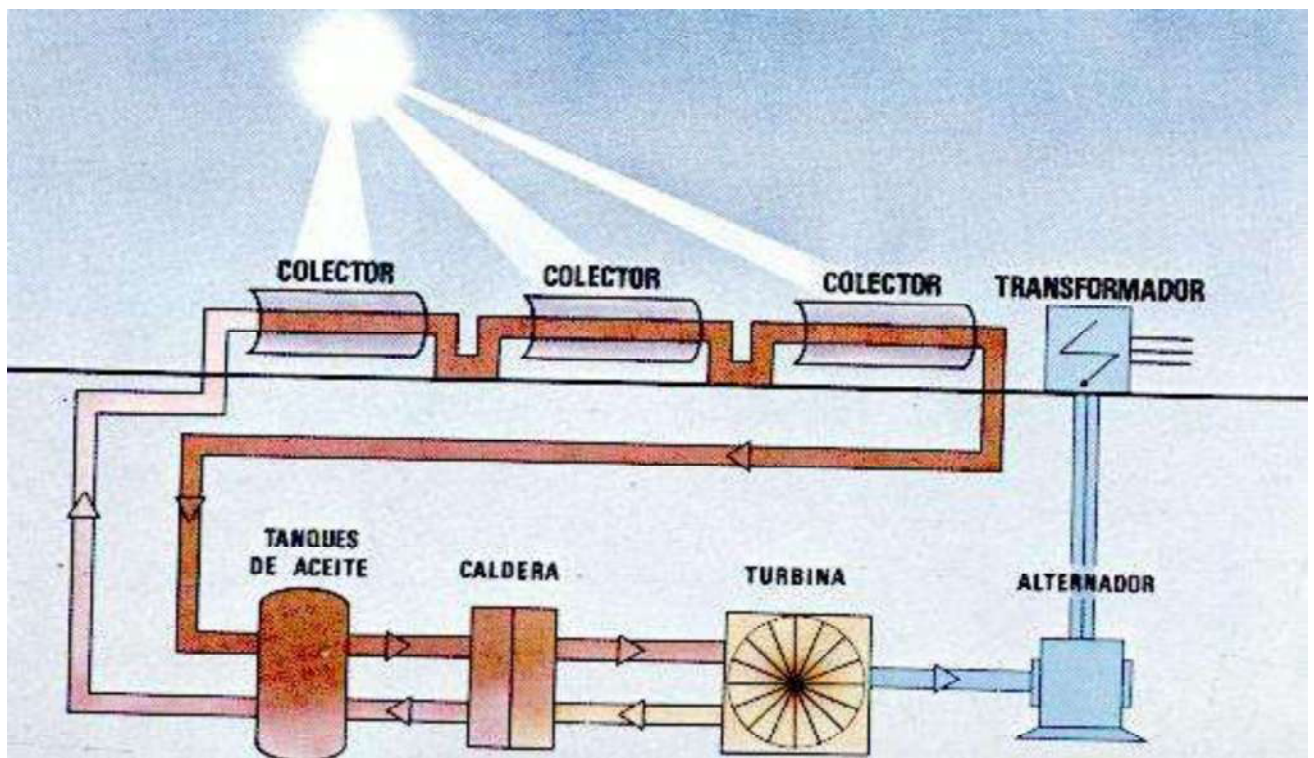


Figura 3.10. Central Termoeléctrica con Colectores Solares

En este tipo de centrales debemos de considerar que los colectores solares calientan el fluido de trabajo hasta las condiciones de saturación, lo que significa, que a la salida de los colectores solares el fluido es vapor saturado seco.

Un diagrama esquemático se muestra en la figura 3.11 para analizar el comportamiento de las variables termodinámicas de la central.

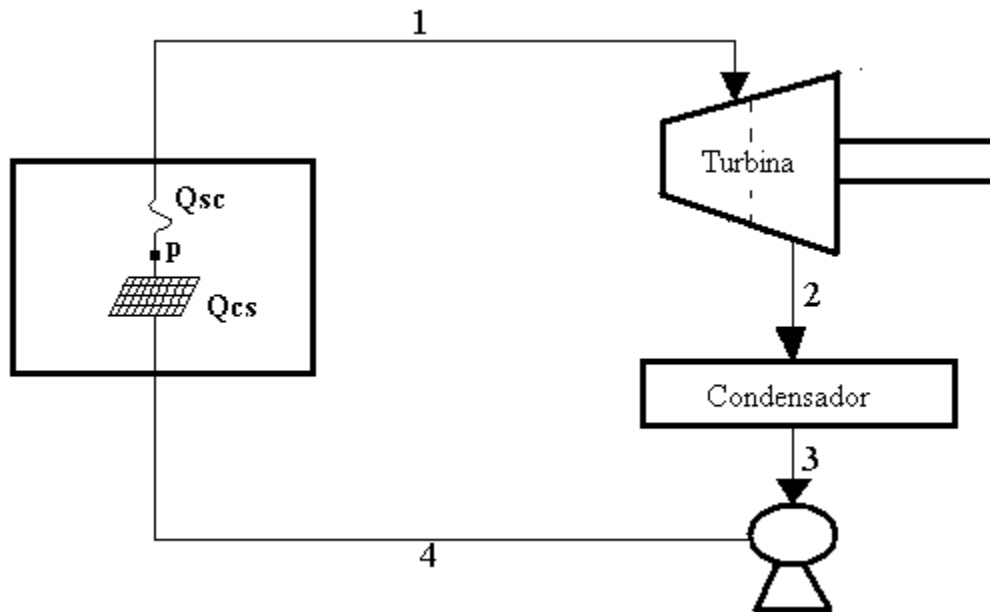


Figura 3.11 Planta de generación de vapor con colector solar

El objetivo del colector solar es llevar el líquido que se encuentra en el punto 4 hacia el punto P donde se obtiene vapor seco y después pasarlo al punto 1 donde tenemos vapor sobrecalentado.

La eficiencia de la central con colector solar se obtiene de,

$$\eta = \frac{w_N}{Q_T} \quad (3.16)$$

Esta eficiencia es el grado de aprovechamiento de la energía que se le proporciona al sistema, lo que significa que cuanto del vapor que nos entrega el colector solar se convierte en energía mecánica.

donde,

$$w_N = w_t - w_b$$

$$Q_T = Q_{sc} + Q_{cs}$$

El calor en el sobrecalentador es:

$$Q_{sc} = h_1 - h_p \quad (3.17)$$

donde,

h_p es la entalpía a la salida del colector solar.

El calor en el colector solar es:

$$Q_{cs} = h_p - h_4 \quad (3.18)$$

La eficiencia de la conexión sobrecalentador-colector solar (Generador de Vapor) es:

$$\eta_{GV} = \frac{Q_{cs}}{Q_T} \quad (3.19)$$

De la ecuación (3.19) se puede observar cuanta eficiencia aporta el campo de colectores solares de la eficiencia total que se obtiene de toda la planta.

3.3.1 Un Problema de una Termoeléctrica Convencional con un Colector Solar

Se tiene una central termoeléctrica con colector solar que se muestra en la figura 3.12, en la que el vapor entra a la turbina sobrecalentado con una presión de 30 bar y temperatura de 300°C, la presión en el condensador es de 0.1 bar. Calcular la eficiencia (η), calidad del vapor (X) y trabajo desarrollado por la turbina (w_t).

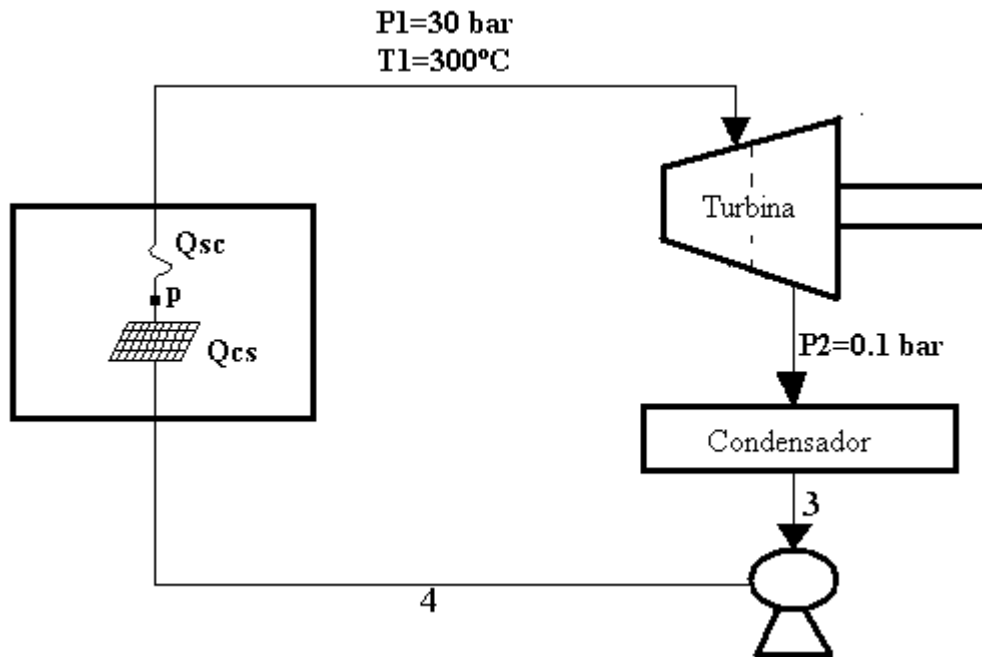


Figura 3.12 Central termoeléctrica con colector solar

De tablas de vapor obtenemos.

$$P_p = 30 \text{ bar}$$

$$P_1 = 30 \text{ bar}$$

$$P_2 = 0.1 \text{ bar}$$

$$h_p = 2804.2 \text{ KJ/Kg}$$

$$T_1 = 300^\circ\text{C}$$

$$h_{f2} = 191.83 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_1 = 2992.35 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{fg2} = 2392.8 \text{ KJ/Kg}$$

$$S_1 = 6.5353 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$S_{f2} = 0.6493 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$S_{g2} = 8.1502 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

Como ya se mencionó anteriormente, en la turbina el proceso es isoentrópico.

$$S_1 = S_2 = S_{f2} + X S_{fg2}$$

Calculando la calidad del vapor:

$$X = \frac{S_1 - S_{f2}}{S_{g2} - S_{f2}}$$

Sustituyendo valores

$$X = \frac{6.5353 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} - 0.6493 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}}{8.1502 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} - 0.6493 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}}$$

$$X = 0.7847$$

La entalpía del vapor al salir de la turbina se obtiene de:

$$h_2 = hf_2 + Xhfg_2$$

$$h_2 = 191.83 \frac{KJ}{Kg} + (0.7847)(2392.8 \frac{KJ}{Kg})$$

$$h_2 = 2069.46 \frac{KJ}{Kg}$$

La entalpía que sale del condensador

$$h_3 = hf_2 = 191.83$$

Como $vf_3 = 1.0102 \frac{cm^3}{gr}$

De la ecuación (3.9) sustituimos valores y obtenemos el trabajo que desarrolla la bomba:

$$w_b = 3.0204 \frac{kJ}{kg}$$

Para encontrar el trabajo desarrollado por la turbina sustituimos valores en la ecuación (3.2) y encontramos:

$$w_t = 922.89 \frac{kJ}{Kg}$$

De la ecuación (3.4) encontramos el trabajo neto:

$$w_N = 919.8696 \frac{kJ}{kg}$$

La entalpía del líquido comprimido al entrar a la caldera:

$$h_4 = h_3 + w_b$$

Sustituyendo valores queda:

$$h_4 = 194.8504 \frac{KJ}{Kg}$$

El calor que tenemos en el sobrecalentador es:

$$Q_{sc} = h_1 - h_p$$

$$Q_{sc} = 2992.35 \frac{KJ}{Kg} - 2804.2 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_{sc} = 188.15 \frac{KJ}{Kg}$$

El calor que esta entregando el colector solar es:

$$Q_{cs} = h_p - h_4$$

$$Q_{cs} = 2804.2 \frac{KJ}{Kg} - 194.8504 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_{cs} = 2609.34 \frac{KJ}{Kg}$$

El calor total se obtiene de:

$$Q_T = Q_{sc} + Q_{cs}$$

$$Q_T = 188.15 \frac{KJ}{Kg} + 2609.34 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_T = 2797.49 \frac{KJ}{Kg}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (3.19), obtenemos el valor de la eficiencia del generador de vapor.

$$\eta_{GV} = \frac{Q_{cs}}{Q_T}$$

$$\eta_{GV} = 0.9327 = 93.27\%$$

Lo que significa que el sistema de colectores proporciona el 93.27% del calor total del vapor

La eficiencia de la central es:

$$\eta = \frac{w_N}{Q_T}$$

$$\eta = 0.328 = 32.8\%$$

La potencia a la salida:

$$P = w_N \dot{m}$$

Por lo tanto la potencia de salida es:

$$P = 919.8696 \frac{kJ}{kg} * 0.00722 \frac{kg}{seg}$$

$$P = 6.6414KW$$

Como puede observarse la central termoelectrica con colector solar entrega una potencia igual a la potencia que entrega una planta termoelectrica convencional, pero lo importante es mencionar que para obtener esta potencia no se esta utilizando combustible y además el calor que proporcionan los colectores solares es gratuito.

3.3.2 Una Central Termoelectrica de Ciclo de Recalentamiento con Colector Solar

Considerar una planta de generación de energía eléctrica con colector solar en la cual el vapor se extrae a una presión de 5 bar y se recalienta a 300°C antes de regresar a la turbina, que se muestra en la figura 3.13. Determinar el trabajo desarrollado por la turbina (w_t), la eficiencia termodinámica (η) y la calidad del vapor (X).

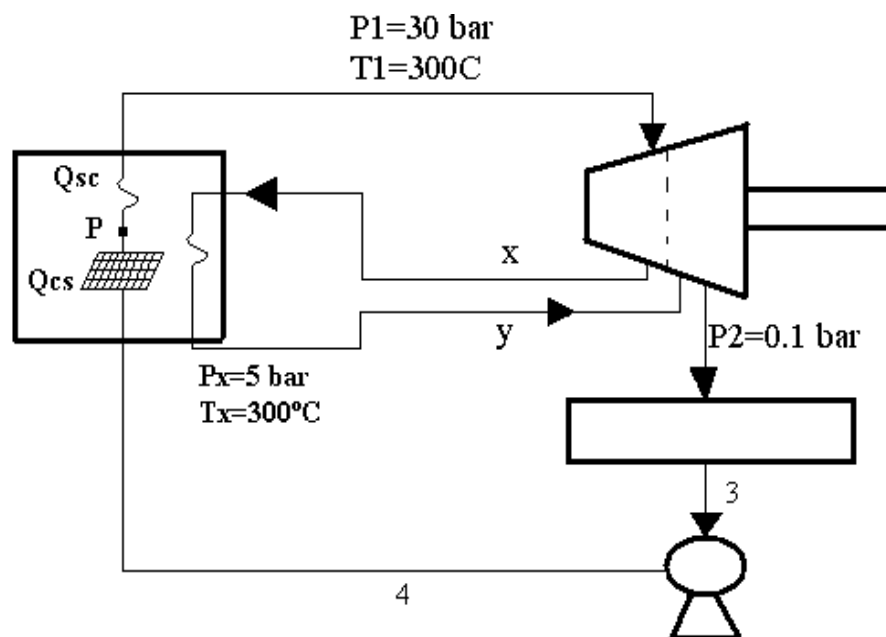


Figura 3.13 Planta con colector solar y ciclo de recalentamiento.

Como tenemos los mismos datos de las tablas de vapor obtenemos:

$$P_p = 30 \text{ bar}$$

$$H_p = 2804.2 \text{ KJ/Kg}$$

$$P_1 = 30 \text{ bar}$$

$$T_1 = 300^\circ\text{C}$$

$$S_1 = 6.5353 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$h_1 = 2992.35 \text{ KJ/Kg}$$

$$P_2 = 0.1 \text{ bar}$$

$$h_{f2} = 191.83 \text{ KJ/Kg} = h_4$$

$$h_{fg2} = 2392.8 \text{ KJ/Kg}$$

$$S_{f2} = 0.6493 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$S_{g2} = 8.1502 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$P_x = 5 \text{ bar}$$

$$h_{f_x} = 640.23 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{fg_x} = 2108.5 \text{ KJ/Kg}$$

$$S_{f_x} = 1.8607 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$S_{g_x} = 6.8212 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$P_y = 5 \text{ bar}$$

$$t_y = 300^\circ\text{C}$$

$$h_y = 3064.25 \text{ KJ/Kg}$$

$$S_y = 7.4586 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

La calidad del vapor que sale de la turbina para recalentarse es:

$$X_x = 0.9423$$

La entalpía del vapor que sale de la turbina para recalentarse es:

$$h_x = 2627.06 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

La calidad del vapor que sale de la turbina y entra al condensador:

$$X_2 = 0.9077$$

La entalpía del vapor que entra al condensador es:

$$h_2 = 2363.77 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

El trabajo desarrollado por la turbina se calcula de:

$$w_t = 1065.76 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

El trabajo desarrollado por la bomba se calcula con la ecuación (3.9)

$$w_b = 3.0204 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (3.17), obtenemos que el calor del sobrecalentador es:

$$Q_{sc} = 188.15 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Para obtener el calor en el colector solar sustituimos valores en la ecuación (3.18) por lo tanto queda que:

$$Q_{cs} = 2612.37 \frac{KJ}{Kg}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (3.16) obtenemos que la eficiencia de la planta es:

$$\eta = 0.3794 = 37.94\%$$

La eficiencia de la conexión colector solar-sobrecalentador (generador de vapor) es:

$$\eta_{G_v} = \frac{Q_{cs}}{Q_T}$$

$$\eta_{G_v} = \frac{2612.37}{2800.52}$$

$$\eta_{G_v} = 0.9328 = 93.28\%$$

Lo que quiere decir que del 37.94% de la eficiencia de la central, el 93.28% del calor lo aporta el sistema de colectores solares, es gratis y sin necesidad de quemar combustible y al no quemar combustible no se esta contaminando la atmosfera.

3.3.3 Una Central Termoeléctrica de Ciclo Regenerativo con Colector Solar

Considerar una planta de generación con colector solar donde la presión y temperatura a la turbina son respectivamente 30 bar y 300°C, consta de una extracción que alimenta a un calentador abierto, la presión de la extracción es de 5 bar y la presión en el condensador es de 0.1 bar, cuyo diagrama se muestra en la figura 3.14.

Determinar, la eficiencia (η), calidad del vapor (X) y trabajo desarrollado por la turbina (w_t).

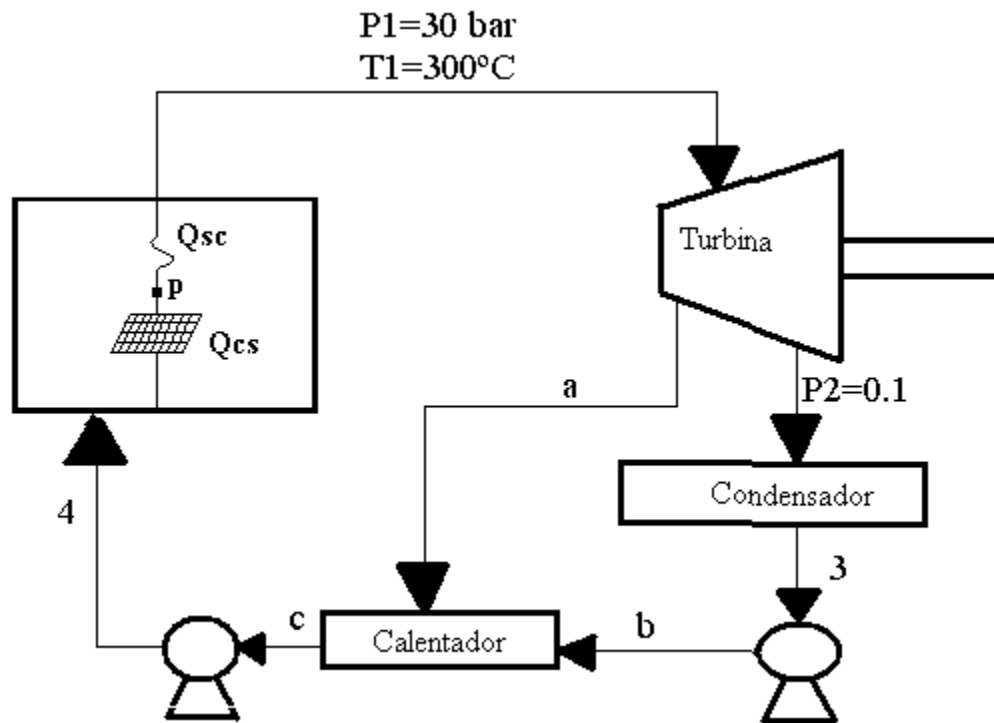


Figura 3.14 Planta con colector solar y con un ciclo regenerativo

De las tablas de vapor se obtiene:

$P_p=30 \text{ bar}$
 $h_p=2804.2 \text{ KJ/Kg}$

$P_1=30 \text{ bar}$
 $T_1=300^\circ\text{C}$
 $h_1=2992.35 \text{ KJ/Kg}$
 $S_1=6.5353 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$

$P_a=5 \text{ bar}$
 $h_{fa}=640.23 \text{ KJ/KG}$
 $h_{fga}=2108.5 \text{ KJ/Kg}$
 $S_{fa}=1.8607 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$
 $S_{ga}=6.8212 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$

$P_2=0.1 \text{ bar}$
 $h_{f2}=191.83 \text{ KJ/Kg}$
 $h_{fg2}=2392.8 \text{ KJ/Kg}$
 $S_{f2}=0.6493 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$
 $S_{g2}=8.1502 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$

La calidad en el del flujo que sale de la turbina y entra al calentador queda:

$$X_a = \frac{S_1 - S_{fa}}{S_{ga} - S_{fa}}$$

Sustituyendo valores

$$X_a = \frac{6.5353 \frac{KJ}{Kg^aK} - 1.8607 \frac{KJ}{Kg^aK}}{6.8212 \frac{KJ}{Kg^aK} - 1.8607 \frac{KJ}{Kg^aK}}$$

$$X_a = 0.9423$$

La entalpía del vapor que sale de la turbina y entra al calentador se obtiene de:

$$h_a = hf_a + X_a hfg_a$$

$$h_a = 640.23 \frac{KJ}{Kg} + (0.9423)(2108.5 \frac{KJ}{Kg})$$

$$h_a = 2627.06 \frac{KJ}{Kg}$$

La calidad del vapor que sale de la turbina y entra al condensador:

$$X_2 = \frac{S_1 - Sf_2}{Sg_2 - Sf_2}$$

Sustituyendo valores

$$X_2 = \frac{6.5353 \frac{KJ}{Kg^aK} - 0.6493 \frac{KJ}{Kg^aK}}{8.1502 \frac{KJ}{Kg^aK} - 0.6493 \frac{KJ}{Kg^aK}}$$

$$X_2 = 0.7847$$

La entalpía que sale de la turbina y entra al condensador es:

$$h_2 = hf_2 + X_2 hfg_2$$

$$h_2 = 191.83 \frac{KJ}{Kg} + (0.7847)(2392.8 \frac{KJ}{Kg})$$

$$h_2 = 2069.46 \frac{KJ}{Kg}$$

Como $vf_3 = 1.0102 \frac{cm^3}{gr}$

De la ecuación (3.9) sustituimos valores y obtenemos el trabajo que desarrolla la bomba:

$$w_b = 3.0204 \frac{kJ}{kg}$$

Para encontrar el trabajo en la turbina necesitamos conocer el flujo vapor y esté lo podemos encontrar sustituyendo valores en la formula (3.13),

$$\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_1} = 0.1841$$

Sustituyendo valores en la ecuación (3.15), el trabajo en la turbina es,

$$w_t = 820.2358 \frac{KJ}{Kg}$$

Para encontrar el calor en el sobrecalentador sustituimos valores en la ecuación (3.17) y obtenemos:

$$Q_{sc} = 188.15 \frac{KJ}{Kg}$$

El calor que esta entregando el colector solar se obtiene de sustituir valores en la ecuación (3.18) y nos queda:

$$Q_{cs} = 2163.97 \frac{KJ}{Kg}$$

Entonces el calor total es:

$$Q_T = Q_{sc} + Q_{cs}$$

$$Q_T = 188.15 \frac{KJ}{Kg} + 2163.97 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_T = 2352.12 \frac{KJ}{Kg}$$

La eficiencia de la central termoeléctrica es,

$$\eta = \frac{w_N}{Q_T}$$

$$\eta = 0.3474 = 34.74\%$$

La eficiencia del generador de vapor es:

$$\eta_{GV} = \frac{Q_{cs}}{Q_T}$$

$$\eta_{GV} = \frac{2163.97}{2352.12}$$

$$\eta_{GV} = 0.92 = 92\%$$

Como se puede observar la eficiencia que entrega una planta convencional no varía con respecto a la eficiencia que entrega una planta termoeléctrica con colector solar. Cabe notar que el calor que tenemos en el colector es gratuito y además el 92% del calor total del vapor lo proporciona el sistema de colectores solares, por lo tanto, es muy rentable tener una planta con colector solar.

3.4 Características Funcionales de un Colector Solar

Los colectores cilindro parabólicos están dispuestos en 312 filas o lazos de colectores que están interconectados con tuberías. Las filas están dispuestas en dirección norte a sur y se orientan de este a oeste siguiendo la trayectoria del sol. Un lazo está compuesto por dos unidades de colector. Cada unidad de colector consta de 12 submódulos de 12m de largo y 6m de ancho. Cada submódulo consta de 28 espejos y 3 tubos absorbedores (fig. 3.15).

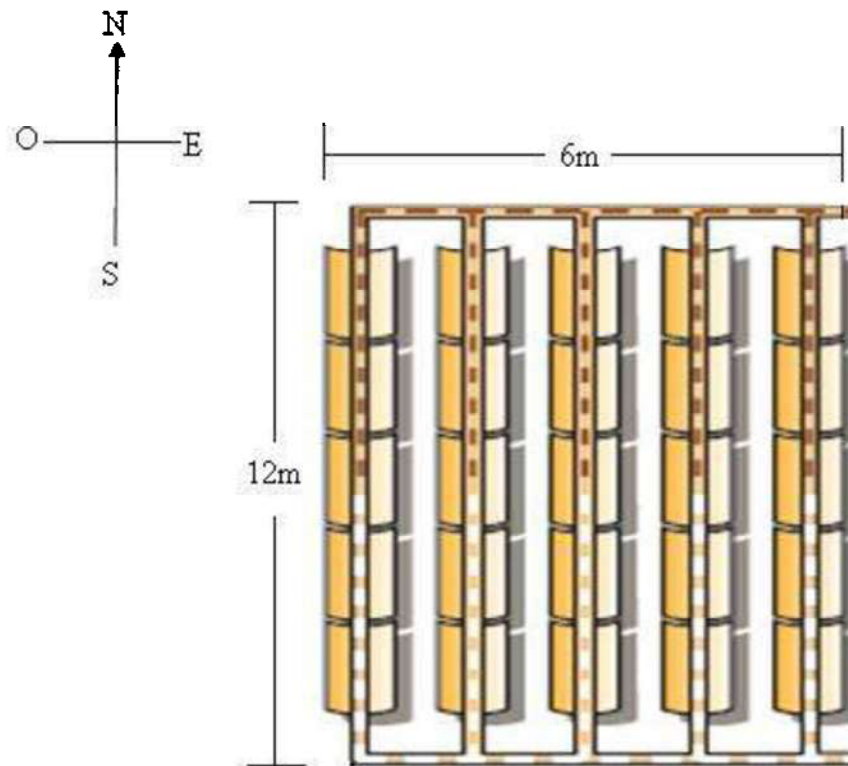


Figura 3.15 Campo Solar

Los espejos y tubos absorbentes se montan con gran exactitud sobre una estructura portante de acero. Este conjunto se denomina colector. La estructura portante se ancla al suelo utilizando pilotes de hormigón y acero (figura 3.16).



Figura 3.16 Estructura portante de acero

Los colectores han sido concebidos para que resistan condiciones meteorológicas extremas. El campo solar en conjunto puede operar bajo condiciones normales hasta una velocidad del viento aproximadamente de 49km/h. Si la velocidad del viento es mayor, dependiendo de la dirección del mismo es posible mover parte de los colectores para llevarlos a una posición de reposo que los proteja del viento. En caso de tormenta (si la velocidad del viento es mayor a 72km/h) se suspende el servicio de la central termoeléctrica.

En la figura (3.17) se muestran cada una de las partes que conforman un colector solar, las cuales se describen posteriormente.

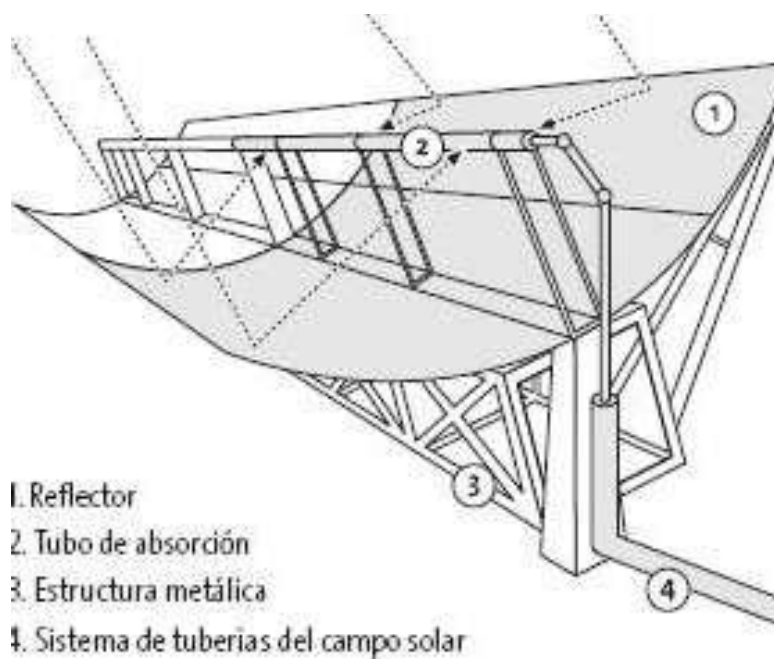


Figura 3.17 Partes de un Colector Solar

Los tubos absorbedores han sido diseñados especialmente para las centrales termoeléctricas de colectores cilindro-parabólicos. Estos tubos absorben la radiación solar directa reflejada por los espejos, luego conducen la energía térmica a través de un líquido portador de calor que circula en su interior para transmitirla al circuito de vapor.

El diseño del tubo absorbedor permite simultáneamente absorber al máximo la radiación solar y reducir la reflexión de calor del tubo de metal que se ha calentado. El tubo absorbedor tiene una longitud de 4 metros y está compuesto por un tubo de acero inoxidable con recubrimiento selectivo múltiple que de acuerdo a la empresa Schott Solar ofrece un grado de absorción del 95% y que emite una radiación de calor de máximo 14% a una temperatura de aproximadamente 400°C. El tubo de acero se recubre con un tubo

envolvente concéntrico y aislado al vacío de vidrio al boro silicato con una capa reflectora que deja pasar hasta un 96% de la radiación

Los espejos parabólicos son de vidrio blanco curvado con recubrimiento de plata y tiene un grosor de cuatro milímetros. La capa de plata está recubierta a su vez con varias capas protectoras. Los espejos se orientan según la trayectoria del sol y reflejan la radiación solar directa hacia el tubo absorbedor.

Según el fabricante, los espejos parabólicos para las centrales termoeléctricas alcanzan un grado de reflexión de aproximadamente 93%. Los espejos con un área de 2.79 o 2.55 metros cuadrados se montan en el interior o bien en el exterior del colector respectivamente. Para verificar la curvatura del espejo un escáner laser registra cerca de 1,000 puntos de medición por espejo.

El espejo se ancla a la estructura de acero en cuatro puntos diferentes. Los espejos, los elementos de fijación y el pegamento tienen el mismo coeficiente de dilatación. Esto garantiza una larga vida útil incluso en caso de fluctuaciones extremas de temperatura. Los elementos de fijación son de cerámica especial, son resistentes a la corrosión y disponen de una resistencia mecánica extremadamente alta.

La eficiencia, durabilidad y costo de una central termoeléctrica con colectores cilindro-parabólicos depende fuertemente de la robustez de colector, figura (3.18), la fuerte rigidez torsional necesaria para el colector cilindro-parabólico se consigue mediante la caja de torsión, un marco de perfiles cuadrado que funciona como un tubo estático normal. Esto reduce la masa de acero así como los costos a la vez que aumenta la rigidez esencial para una alta calidad óptica.

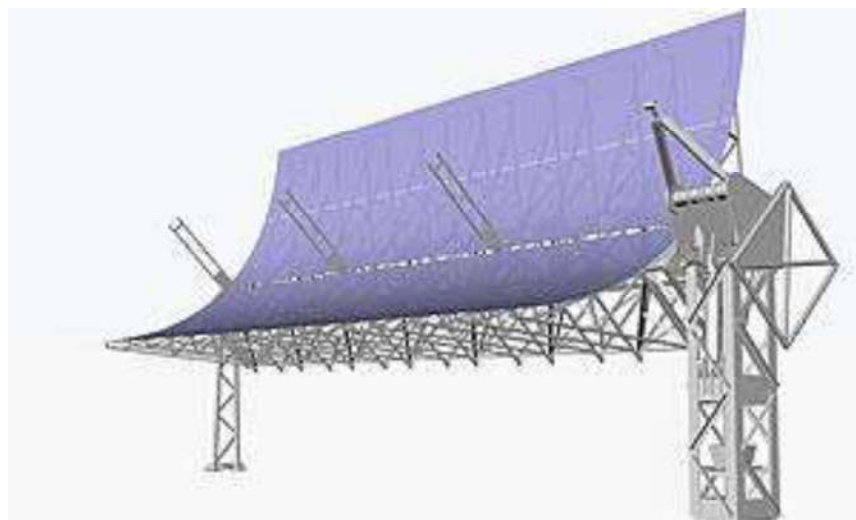


Figura 3.18 Diseño conceptual de un colector solar Cilindro-parabólico

CAPÍTULO 4

PROYECTO DE GENERACIÓN Y CONTROL DE SEGUIMIENTO

4.1 Introducción

Un estudio realizado por el Centro Alemán de Aeronáutica y Aeroespacial concluye que a partir del año 2025 la electricidad obtenida de fuentes de energía renovable será más barata que la obtenida de combustibles fósiles.

En la actualidad en Europa, las centrales eléctricas termosolares aún requieren apoyo por parte del estado para poder garantizar un funcionamiento rentable. En México no existen centrales de este tipo por que no se tiene la tecnología optima para desarrollar una central eléctrica termosolar, el estado debería apoyar este tipo de generación de energía eléctrica ya que su funcionamiento si es rentable.

Con el fin de maximizar la energía solar que llega al receptor, un sistema de seguimiento solar debe ser desarrollado. En un colector parabólico es muy importante, ya que los rayos que inciden de manera paralela a la línea focal y por lo tanto es necesario estar apuntando al sol en todo momento.

Un sistema de seguimiento debe ser confiable, capaz de seguir al sol con un cierto nivel de certeza capaz de regresar al colector de su posición en el ocaso a su posición de espera del sol en el amanecer y también capaz de seguir al sol aun cuando haya existencia de nubes en forma intermitente.

4.2 Proyecto de Generación para una Central Termoeléctrica con Colector Solar

Como se ya se mencionó en el capítulo 2, las región con mayor radiación solar es al norte de sonora y chihuahua, por esta razón una central termoeléctrica con colector solar podría ayudar en la generación de energía eléctrica sin necesidad de utilizar al 100% combustibles fósiles. Es por ello que se tiene en mente un proyecto de una central termoeléctrica con colector solar, con la capacidad de generar hasta 50 MW.

Considerar una planta de generación con colector solar cuyo diagrama se muestra en la figura 4.1, donde la presión y temperatura son 40 bar y 320°C respectivamente, consta de una extracción que alimenta a un calentador abierto, la presión de la extracción es de 3 bar y la presión del condensador es de 0.075bar.

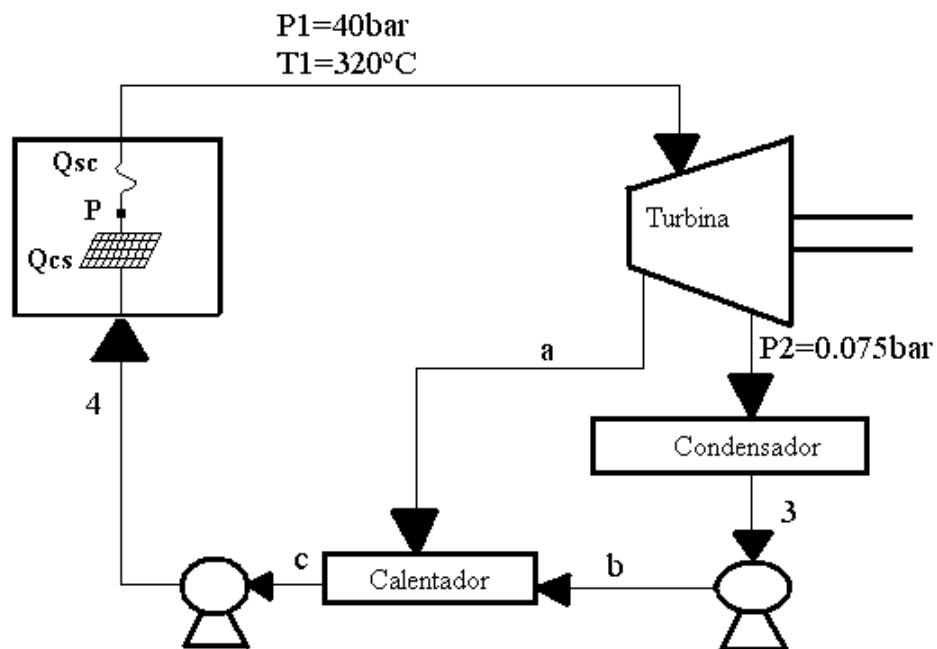


Figura 4.1 Esquema de una Central Termoeléctrica con Colector Solar

Las características generales de una central termoeléctrica con colector solar con capacidad de generar hasta 50MW se muestran en la tabla 4.1, donde se muestran principalmente las características del campo solar.

Información General sobre la “ CENTRAL TERMOELÉCTRICA CON COLECTOR SOLAR”	
Ubicación	
Nombre del proyecto	Termosol
Ubicación	Al norte de Sonora y Chihuahua
Terreno aprox.	195 hectáreas (1.300m x 1.500m)
Acceso al la línea de alta tensión	Conexión a la línea de 400KV
Campo Solar	
Área del campo solar	510.120m ²
Numero de espejos parabólicos	209.664 espejos
Numero de tubos absorbedores	22.464 tubos, c/u de 4m de largo
Numero de sensores solares	524 unidades
Potencia de la central eléctrica	
Potencia de las turbinas	49.9 MW
Tiempo de vida útil estimado	Al menos 40 años

Tabla 4.1 Características Generales de una Central Termoeléctrica con Colector Solar

La figura 4.2 muestra el bosquejo de la central termoeléctrica con colectores solares instalada.



Figura 4.2 Bosquejo de la central termoeléctrica con colectores solares.

Ahora con los datos que ya se mencionaron vamos a obtener la calidad del vapor (X), la eficiencia termodinámica y la eficiencia del Generador de vapor así como el flujo que circula a través de los tubos absorbedores.

De las tablas de vapor se obtiene:

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

$$h_p = 2801.4 \text{ KJ/Kg}$$

$$P_1 = 40 \text{ bar}$$

$$T_1 = 320^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 3015.4 \text{ KJ/Kg}$$

$$S_1 = 6.4553 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$P_a = 3 \text{ bar}$$

$$h_{fa} = 561.47 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{fga} = 2163.8 \text{ KJ/Kg}$$

$$S_{fa} = 1.6718 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$S_{ga} = 6.9919 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

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

$$h_{f2} = 168.2925 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{fg2} = 2406.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$S_{f2} = 0.5747 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$S_{g2} = 8.2541 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$V_{f2} = 1.0079 \text{ cm}^3/\text{gr}$$

La calidad en el punto “a” que es el vapor auxiliar que alimenta al calentador es,

$$X_a = 0.8991$$

La entalpía del vapor que sale de la turbina y entra al calentador es:

$$h_a = 2057.023 \frac{KJ}{Kg}$$

La calidad del vapor que sale de la turbina y entra al condensador:

$$X_2 = 0.7657$$

La entalpía que sale de la turbina y entra al condensador es:

$$h_2 = 2010.796 \frac{KJ}{Kg}$$

De la ecuación (3.9) sustituimos valores y obtenemos el trabajo que desarrolla la bomba:

$$w_b = 4.0240 \frac{kJ}{kg}$$

Para encontrar el trabajo en la turbina necesitamos conocer el flujo de vapor y este lo podemos encontrar sustituyendo valores en la formula (3.13).

$$\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_1} = 0.2081$$

Sustituyendo valores en la ecuación (3.15), el trabajo en la turbina es:

$$w_t = 994.984 \frac{KJ}{Kg}$$

Para encontrar el calor en el sobrecalentador sustituimos valores en la ecuación (3.17) y obtenemos:

$$Q_{sc} = 214 \frac{Kj}{Kg}$$

El calor que esta entregando el colector solar se obtiene de sustituir valores en la ecuación (3.18) siendo:

$$Q_{cs} = 2239.93 \frac{K}{Kg}$$

Entonces el calor total es:

$$Q_T = 2453.93 \frac{Kj}{Kg}$$

La eficiencia de la central termoeléctrica es:

$$\eta = 0.4038 = 40.38\%$$

La eficiencia del generador de vapor es:

$$\eta_{GV} = 0.9127 = 91.27\%$$

El flujo que circula a través de los tubos absorbedores se obtiene de:

$$\dot{m} = \frac{P}{w_N}$$

Sustituyendo valores queda:

$$\dot{m} = \frac{50\,000 \times 10^3 \frac{Kj}{S}}{990.96 \frac{Kj}{Kg}} = 50.456 \frac{Kg}{S}$$

Como se puede observar la eficiencia es muy aceptable considerando que del 40.38% de la eficiencia total, el 91.27% del calor total del vapor lo aporta el campo de colectores solares, además de que este calor es gratuito, no contamina ya que lo esta aportando una fuente de energía renovable como lo es el sol y no se esta quemando combustible. Por lo tanto se puede concluir que este proyecto es rentable tanto o más que una central termoelectrica convencional

4.3 Control de Seguimiento de un Colector Solar

La plataforma solar de la cual ya se describió en el proyecto, debe disponer de un campo de colectores solares cilindro-parabólicos con seguimiento solar, con el fin de aprovechar al máximo la radiación solar y obtener siempre la máxima eficiencia.

El diagrama de bloques que se muestra en la figura 4.3 indica que el controlador estará manipulando únicamente el campo de colectores solares y no toda la central termoelectrica y al estar retroalimentado con la posición deseada se va a obtener la posición a la cual se va a encontrar el sol.

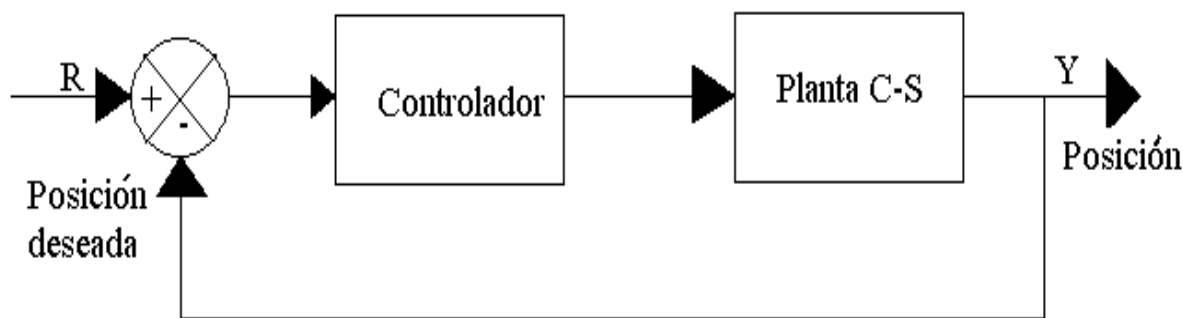


Figura 4.3 Diagrama de bloques para el control del colector solar.

El campo está provisto con un sistema de seguimiento del sol que mueve los espejos alrededor de un eje paralelo a aquel en el que se sitúa la tubería. El mecanismo de seguimiento puede alcanzar los estados siguientes:

- Seguimiento: El mecanismo sigue al sol y los colectores enfocan sobre la tubería.
- Bocabajo: El mecanismo lleva al colector a una posición invertida, no existiendo ningún tipo de seguimiento del sol. A este estado se llega al final del día.

La figura 4.4 muestra los estados que puede alcanzar con el sistema de seguimiento. Para el sistema de seguimiento se propone un motor de corriente directa con engranes, esto con el fin de que el motor gire paso a paso y siga el movimiento del sol.

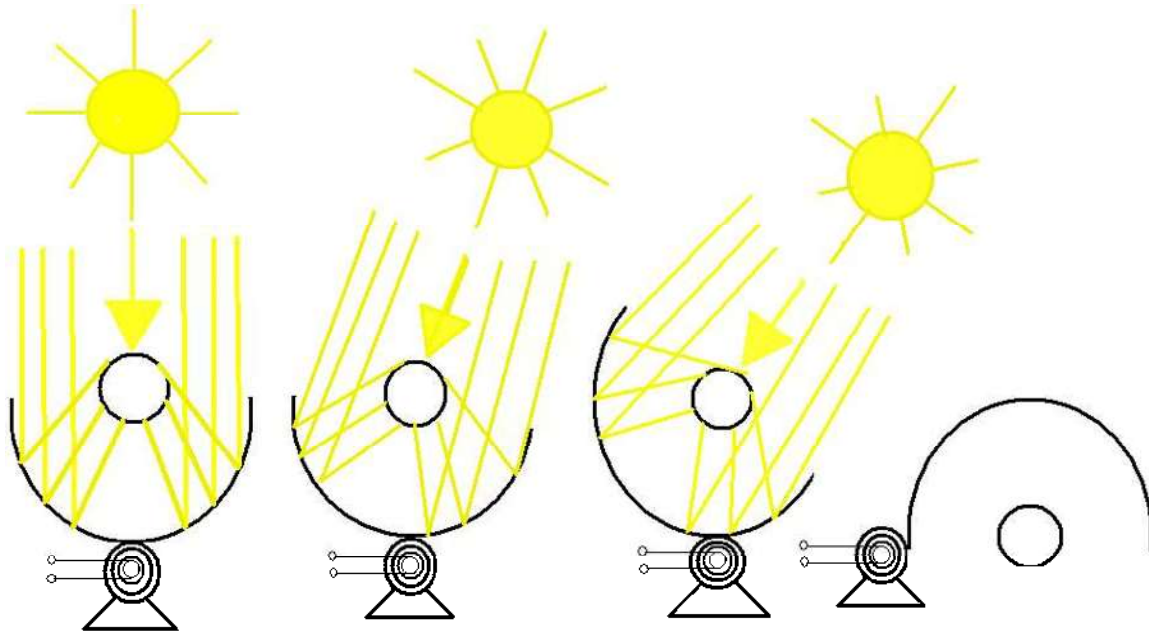


Figura 4.4 Estados que puede alcanzar el colector solar

Para este sistema en lazo cerrado, la planta representa el subsistema formado por los colectores solares y los motores conectados a ellos. El controlador podrá ser un sencillo control proporcional o un control proporcional e integral.

Este sistema en lazo cerrado debe tener como objetivo el seguimiento de la trayectoria del sol por los colectores solares para tener una máxima captación de los rayos solares.

Por lo tanto, se requiere un sensor de posición del colector solar y su comparación con la posición deseada para lograr el objetivo.

4.4 Beneficios o Ventajas del Proyecto

Las ventajas del presente proyecto son:

- Al emplear la energía del sol, siendo ésta un tipo de energía renovable presenta un reducido impacto ambiental, respecto a las tecnologías que emplean combustibles fósiles.

- Una vez realizada la instalación y hecha la inversión inicial, no se originan gastos posteriores (a excepción del mantenimiento); el consumo de energía eléctrica es totalmente gratuito.
- No usa combustibles, eliminando la incomodidad de tener que aprovisionarse y el peligro de su almacenamiento.
- Impacto ambiental nulo: la energía solar no produce desechos, ni residuos, basuras, humos, polvos, vapores, ruidos, olores, etc.
- La central eléctrica entrega una elevada calidad energética, un impacto medio ambiental prácticamente nulo, y es un recurso inagotable a escala humana.

4.5 Propuestas de Proyectos a Gran Escala

Según los cálculos hechos por la Agencia Internacional de Energía (IEA), el aumento en el consumo de energía a nivel mundial serán de un 50% hasta el año 2030 y, según un estudio realizado por el Consejo Mundial de la energía, el aumento alcanzará entre el 70% y el 100% hasta el año 2050. Este proceso se podría frenar un poco utilizando por ejemplo aparatos eléctricos y máquinas de bajo consumo de energía. Al mismo tiempo se debe reestructurar a fondo y de manera duradera la producción de energía a nivel mundial para poder utilizar a gran escala las energías renovables.

Es por ello que se propone integrar centrales termosolares en centrales eléctricas convencionales, esto con el propósito de reducir las emisiones nocivas para el clima, además de disminuir el uso de combustibles fósiles.

En México llegan en promedio 400Lg/día esto aproximadamente una incidencia promedio de 0.2Kw/m^2 es por ello que se propone instalar centrales termosolares ya que estas entregan una eficiencia muy cercana a las centrales eléctricas convencionales. Además, las centrales eléctricas termosolares se destacan porque requieren una superficie relativamente reducida en relación al volumen de energía que producen por metro cuadrado y su periodo de amortización energética de una central de este tipo es el tiempo que ésta

requiere para generar la misma cantidad de energía que fue necesaria para construir la instalación completa.

En México no existe este tipo de centrales ya que no se cuenta con la tecnología óptima pero en otros países como Alemania ya cuenta con este tipo de centrales y diversos estudios realizado por instituciones de renombre pronostican un crecimiento sustancial en el sector de las centrales eléctricas termosolares. Para el año 2020 se espera que a nivel mundial las centrales eléctricas termosolares pongan a disposición una potencia de por lo menos 20 000 MW.

4.6 Disminución del CO₂ (Dióxido de Carbono) con este Proyecto

La emisión de residuos a la atmosfera y los propios procesos de combustión que se producen en las centrales térmicas tienen una incidencia importante en el medio ambiente. El problema de la contaminación es máximo en las centrales termoeléctricas convencionales que utilizan como combustible el carbón. Además, la combustión de carbón tiene como consecuencia la emisión de partículas y ácidos de azufre. En las de fueloil los niveles de emisión de estos contaminantes son menores, aunque ha de tenerse en cuenta la emisión de dióxido de azufre y hollines ácidos, prácticamente nulos en las plantas de gas.

En todo caso en mayor o en menor medida todas ellas emiten a la atmósfera dióxido de carbono, CO₂. La tabla 4.2 muestra cuanto emite una central termoeléctrica según el combustible utilizado.

Combustible	Emisión de CO ₂ Kg/KWh
Gas natural	0.44
Fuelóleo	0.71
Carbón	1.45
Leña, madera	0.82

Tabla 4.2 Emisiones según el combustible.

Con este proyecto se estará evitando que se contamine el medio ambiente tanto, ya que este tipo de centrales no desechan CO₂. Al sustituir una central termoeléctrica convencional de carbón por una central termoeléctrica con colector solar no se emitirá 1.45Kg/KWh.

Según investigaciones realizadas por Iberdrola Renovables, para la central termoeléctrica con colectores solares de 50MW de potencia se evitará la emisión a la atmósfera de al menos 90.000 toneladas de CO₂.

4.7 Reducción del Combustible en el Generador de Vapor con Colectores Solares

El carbón representa cerca del 70% de las reservas energéticas mundiales fósiles conocidos actualmente. El carbón que existe en México es poco, además de que se requiere para otros procesos como el siderúrgico.

Una central termoeléctrica convencional de carbón genera un 8% de la energía total y un 46.12% con hidrocarburos, con el proyecto de la central termoeléctrica con colectores solares, se reducirá en un 54% aproximadamente el uso de combustibles.

Para generar 1MW de potencia el consumo por KW/hr, de carbón es 380gr, y de fuel-oil es de 230gr. El consumo anual de carbón es de 2.5 millones de toneladas y de fuel-oil es de 1.52 millones de toneladas. Esto quiere decir, con una central termoeléctrica con colectores solares se estará ahorrando 2.5 millones de toneladas de carbón y 1.52 millones de toneladas de fuel-oil aproximadamente, en un año.

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se ha cumplido con el objetivo ya que se demostró teóricamente que las centrales termoeléctricas con colector solar tienen la misma eficiencia que las centrales termoeléctricas convencionales.

Es importante destacar que la mayor parte del calor lo aportan los colectores solares, es gratuito y con una temperatura elevada.

Se tiene que empezar a utilizar las fuentes de energía renovable como es la del sol, ya que esta es una fuente de energía inagotable a escala humana, además de que no contamina y es gratuita.

Los colectores solares al recibir la radiación solar de manera concentrada, los colectores de concentración son capaces de proporcionar hasta 400°C con buenos rendimientos.

Se recomienda utilizar para el sistema de seguimiento, un motor de CD con engranes, para que este no gire a su máxima velocidad y funcione con el mismo principio que utiliza para mover brazos mecánicos.

El sistema de seguimiento que se recomienda utilizar tiene un consumo energético mínimo en comparación con la energía que podría generar el colector solar.

Se recomienda conectar los colectores solares en paralelo con un generador de vapor, esto con el fin de prevenir una baja generación de energía si en una ocasión durante todo el día no sale el sol.

5.2 Recomendaciones

Una recomendación es que la materia de Centrales II no sea optativa ya que es una materia muy importante y además se facilitará la investigación y contaremos con conocimientos previos.

Para facilitar la investigación es recomendable saber ingles ya que la mayoría de la información esta en ese idioma.

Se recomienda que se adquieran más libros sobre fuentes renovables en la biblioteca ya que son muy pocos los que se tienen y eso complica un poco la investigación.

Para trabajos futuros se recomienda analizar los colectores flexibles para bajas temperaturas, ya que este tipo de colectores es lo más nuevo en tecnología además que se obtiene una mayor eficiencia que en los colectores planos rígidos.

Referencias

Energía Renovable

Tecnología de punta para utilizar otras fuentes de energía.

Jennifer Carles.

Energía Solar para viviendas

Juan de Cusa

Energías Renovables

Mario Ortega Rodríguez

Notas del Dr. Gilberto González Avalos

Ligas de Internet

www.ga-solar.com/energiasolar.html

www.solarmillennium.com

www.manferrostaal.com

www.energy.com.dr/power%generation