

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

ESTUDIO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON CENTRALES TERMOSOLARES EN LA PAZ CENTRO, MUNICIPIO DEL DEPARTAMENTO DE LEON

Trabajo Monográfico Para Optar al Título de
Ingeniero Eléctrico

Elaborado Por:

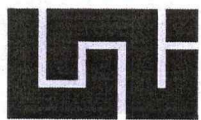
Br. Albert Kevin Martinez
López

No. Carnet. 2017-0439U

Tutora:

Ing. María Fabiola Vanegas
Martinez

16 de julio de 2024
Managua, Nicaragua



Área de Conocimiento de
Ingeniería y Afines

Managua, 15 de Julio de 2024

MSc. Luis Alberto Chavarria Valverde

Responsable de la Oficina Técnica y Culminación de Estudios
Su despacho.

Estimado MSc. **Chavarria**

Sirva la presente para hacer constar en mi calidad de tutor de la tesis titulada: "Estudio de generación de Energía Eléctrica con Centrales Termosolares en La Paz Centro, Municipio del Departamento de León" que fue desarrollada por el **Br. Albert Kevin Martínez López**, carnet 2017-0439U, ha cumplido con las revisiones y correcciones correspondientes indicadas.

Por lo antes expuesto solicito a usted, programación de defensa

Sin más que agregar me despido

Maria Fabiola Vanegas Martínez

Tutor



Teléfono: (505) 2251 8276



Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso.
Managua, Nicaragua.



luis.chavarria@fti.uni.edu.ni
www.uni.edu.ni



Decanatura | FEC

Universidad Nacional de Ingeniería
Recinto Universitario "Simón Bolívar"
Facultad de Electrotecnia y Computación

Decanatura
DF-08-2023-03

Managua, 04 de agosto del 2023.

Bachiller.

Albert Kevin Martínez López 2017-0439U.
Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Estimado Bachiller:

El suscrito Decano de la Facultad de Electrotecnia y Computación, a través de la presente autoriza de manera formal la inscripción de la Monografía Titulada "**Estudio de Generación de Energía Eléctrica con Centrales Termosolares en la Paz Centro, Municipio del Departamento de León**". Para optar al Título de Ingeniero Eléctrica, para tal efecto se nombra como Tutor de la Monografía al Ing. **María Fabiola Vanegas Martínez**.

Así mismo le solicito proceda a la **Inscripción de dicho Tema Monográfico** en secretaria Académica de la facultad, con la finalidad de darle control y seguimiento, de acuerdo a los reglamentos establecidos.

Se les recuerda que, según la normativa para los trabajos monográficos, a partir de la fecha de inscripción tiene 12 meses para defender dicho trabajo.

Sin más a que referirme y deseándoles mucho éxito en la culminación de esta etapa, me despido.

Atentamente,



Msc. Augusto César Palacios Rodríguez
Decano UNI-FEC

C/c: Ing. María Lourdes Montes.
Ing. Napoleón Blanco Orozco.
Ing. María Fabiola Vanegas Martínez.
Archivo.

Secretaria Académica.
Jefe de Dpto. de Eléctrica.
Tutor.



Teléfono: (505) 2270 5126



Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo. 5595



augusto.palacios@fec.uni.edu.ni
www.fec.uni.edu.ni

Resumen

En el presente documento se presenta un estudio de generación eléctrica con centrales termosolares en la Paz Centro municipio del departamento de León, en el cual se presentarán todos los tipos de tecnologías de termosolares, sus ventajas y desventajas, y cuál sería la mejor opción para Nicaragua tomando en cuenta las condiciones del país.

Las centrales termosolares son un tipo de energía de origen renovable, esta transforma la energía del sol en energía calorífica y está a su vez es transformada en electricidad por una turbina de vapor, a diferencia de la generación fotovoltaica que transforma directamente la energía solar en energía eléctrica. Existen varios tipos de tecnologías termosolares para aprovechar este recurso, estas son de tipo; receptor central, cilindro parabólico, lineal Fresnel y disco parabólico.

De estas tecnologías las más utilizadas de manera comercial son la receptor central y cilindro parabólico, también son las que presentan un mayor costo debido a su complejidad, por otro lado, está la tecnología Fresnel que presenta un menor costo y menos complejidad con respecto a las otras tecnologías y en los últimos años ha aumentado el desarrollo de esta tecnología abaratando más los precios y aumentado la oferta en el mercado de este tipo de tecnología.

Las condiciones del sitio o emplazamiento donde se quiera ubicar una termosolar y sea viable económicamente deben de ser la siguientes, radiación solar de alrededor $2,000 \text{ kWh/m}^2$, disponibilidad de agua y buenas condiciones climáticas. La Paz Centro es una de las zonas con mayor radiación solar en Nicaragua la cual presente una radiación de alrededor de los 2132.5 kWh/m^2 y al estar en la región del pacifico del país, las condiciones climáticas son relativamente buenas.

De las 4 tecnologías de termosolares se seleccionó la tecnología Fresnel para realizar el diseño de una central de 30 MW y así mismo dimensionar el campo solar para poder generar esta cantidad de energía, se presentaron diferentes fabricantes de colectores con sus especificaciones, y seleccionar el mejor colector para la central termosolar. También para el bloque de potencia, se expusieron las turbinas de uno de los fabricantes más usados en este tipo de centrales.

Acrónimos

KWh/ m^2 .	kilowatt-hora por metro cuadrado
CCP	Colector Cilindro parabólico
MW	Mega watt
KWh	kilowatt hora
CO ₂	Dióxido de carbono
ONU	Organización de naciones unidas
°C	Grado Celsius
Mpa	Mega Pascal
EE. UU	Estados Unidos
USD/KWh	Dólares por kilowatt hora
USD/KW.	Dólares por kilowatt
PV	Panel Fotovoltaico
CC	Corriente Continua
TES	Sistema de almacenamiento térmico
W/ m^2 .	Watt por metro cuadrado
I_T	Radiación solar total
I_D	Radiación directa
Km ² .	Kilómetros cuadrados
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
Km	Kilómetros
$Q_{opt}(\varphi=0)$	Calor perdido en los materiales del colector
$Q_{opt}(\varphi>0)$	Calor perdido por la geometría del colector
Q_L	Calor perdido en el tubo absolvedor
MW_{Th}	Megawatt térmico
m^2	Metros cuadrados

Índice de contenido

Capítulo 1 Generalidades	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes, justificación y metodología	2
1.2.1 Antecedentes	2
1.2.2 Justificación	3
1.2.3 Metodología	3
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Energías renovables	6
1.5 Energía solar.....	7
1.6 Tecnologías utilizadas en la explotación del recurso solar	8
1.7 La energía solar en el contexto mundial	9
Capítulo 2 Tipos de centrales termosolares	12
2.1 Centrales termosolares	12
2.2 Tipos de tecnologías de centrales termosolares	12
2.2.1 Centrales de torre	13
2.2.2 Tecnología Cilindro parabólica	14
2.2.3 Concentradores lineales Fresnel	15
2.2.4 Disco parabólico Stirling	17
2.3 Tecnologías para la generación de vapor	18
2.3.1 Producción de vapor mediante un intercambiador de calor.	18
2.3.2 Producción de vapor mediante expansión súbita (Flashing).....	18
2.3.3 Producción Directa de vapor	19
2.4 Comparación de las diferentes tecnologías termosolares.....	20
2.4.1 Aplicación	20
2.4.2 Ventajas	20
2.4.3 Desventajas	21
2.5. Costos de la energía termosolar con respecto a otras energías renovables.	22
2.6 Energía termosolar frente a otras energías.....	24

2.6.1 Energía termosolar frente a fotovoltaica	24
2.6.2 Energía termosolar frente a la generación con gas natural.	25
2.7 Requisitos para implementar plantas termosolares	26
2.7.1 Radiación	26
2.7.2 Nubosidad.....	26
2.7.3 Vientos.....	27
2.7.4 Pendiente.....	27
2.7.5 Superficie	27
2.7.6 Recursos Hidráulicos	27
2.7.7 Accesibilidad	27
Capítulo 3 La Paz Centro, características y condiciones climáticas	28
3.1 Actividad económica	28
3.2 Consumo eléctrico del municipio.....	28
3.3 Característica Solar en el municipio.....	29
3.3.1 Componentes de la radiación solar.....	29
3.3.2 Posición relativa tierra-sol (azimut y elevación)	30
3.3.3 Radiación solar	31
3.4 Nubosidad y vientos.....	33
3.4.1 Nubosidad.....	33
3.4.2 Vientos.....	34
3.5 Disponibilidad de suelos y topografía.....	35
3.6 Recursos hídricos	36
Capítulo 4 Planta termosolar a desarrollar	37
4.1 Tecnología a utilizar	37
4.2 Tecnología Fresnel	37
4.3 Principio de la tecnología Fresnel	38
4.4 Partes de una central termosolar Fresnel	38
4.4.1 Sistema de concentración.....	38
4.4.2 Reflector primario.....	39
4.4.3 Reflector secundario	39
4.4.4 Tubo Absorbedor o Receptor.....	41
4.4.5 Ciclo de vapor	41

4.4.6 Turbina de vapor.....	42
4.4.7 Condensador	43
4.5 Dimensionado del campo solar (Colectores)	43
4.5.1 Perdidas en los colectores solares	44
4.5.2 Cálculo de Colectores solares	45
4.5.3 Cálculo de Filas de Colectores en serie, Filas Paralelas y Flujo másico del campo.	48
4.6 Bloque de potencia	55
4.7 Ubicación de la planta.....	57
Capítulo 5 Impacto ambiental de una central termosolar.	58
5.1 Identificación de los efectos sobre el medio (matriz de identificación).....	58
5.1.1 Impacto sobre la calidad del aire	59
5.1.2 Impacto sobre el suelo.....	59
5.1.3 Impacto sobre las aguas.....	60
5.1.4 Impacto sobre la flora	60
5.1.5 Impacto sobre el paisaje	60
Capítulo 6 Análisis económico.	61
6.1 Gastos de inversión	62
6.2 Gastos de operación, mantenimiento y seguros	63
6.3 Ingresos	63
6.4 Impacto económico en el país.....	65
6.4.1 Impacto en el mercado energético nacional	65
6.4.2 Impacto sobre el empleo.....	66
Capítulo 7 Conclusión.	67
Bibliografía	69
ANEXOS	72
Anexo A. Trayectoria del sol en diferentes países que han aplicado energía termosolar	72
ESTADOS UNIDOS.....	72
ESPAÑA	73
CHILE	74
Anexo B. Fabricante de receptores lineales Fresnel y sus especificaciones	75
Anexo C. Catálogo de turbinas de vapor	77

Anexo D. Información de planta termosolar PE 2 78

Anexo E. Ubicación de la planta termosolar 79

Índice de figura

Figura 1: Tipos de fuentes energéticas	7
Figura 2:Energía Eólica Solar.....	9
Figura 3:Demanda mundial de energía primaria por combustible.....	10
Figura 4:Potencial teórico físico de las energías renovables	11
Figura 5:Tecnología de torre	13
Figura 6:Central termosolar ps-20 y ps-10	14
Figura 7:Tecnología de reflectores Fresnel.....	16
Figura 8:Central termosolar Fresnel puerto errado 2	17
Figura 9:Central termosolar con disco parabólico	18
Figura 10:Costo de generación de energías según su fuente.....	22
Figura 11:Costo de generación electricidad de energías renovables.....	23
Figura 12: Sistema de almacenamiento térmico	24
Figura 13:Componentes de la radiación solar	29
Figura 14:Horizonte y recorrido solar	30
Figura 15:Recorrido azimutal del sol.....	31
Figura 16:Mapa solar de irradiación directa normal	32
Figura 17: Irradiación directa normal en La Paz Centro	33
Figura 18:Categorías de nubosidad en La Paz Centro	34
Figura 19:Velocidad promedio del viento en La Paz Centro	34
Figura 20: Mapa del relieve de La Paz Centro	35
Figura 21:Partes de un colector lineal Fresnel	39
Figura 22: Esquema simplificado del reflector secundario en la planta pe1	40
Figura 23:Tipos de diseño de estructura del receptor	40
Figura 24:Tubo absorbedor.....	41
Figura 25:Esquema de funcionamiento de una planta termosolar Fresnel	42
Figura 26:Turbina de vapor de una central termosolar.....	42
Figura 27:Registro de radiación directa normal promedio.....	43
Figura 28:Diagrama de pérdidas en los colectores	44
Figura 29:Configuración de colectores en serie y líneas en paralelo	49
Figura 30:Diagrama de funcionamiento físico de un colector termosolar	50
Figura 31:Relación entre cantidad de colectores en serie y el flujo.....	52
Figura 32:Dimensiones del campo solar a diferentes cantidades de colectores en serie	53
Figura 33:Turbinas industriales desde 2 MW hasta 250 MW marca SIEMENS	55
Figura 34:Desnivel del terreno	57
Figura 35:Esquema económico de una central eléctrica.....	61

Índice de tabla

Tabla 1:Fabricantes y características de colectores Fresnel.....	45
Tabla 2:Datos constantes necesarios para calcular el flujo.....	51
Tabla 3:Determinación del flujo másico, colectores en serie y en paralelo	52
Tabla 4:Dimensiones del campo solar	53
Tabla 5:Datos finales de la planta termosolar diseñada	56
Tabla 6:Matriz de identificación de impacto ambiental.....	59
Tabla 7:Costos de los elementos de una central termosolar.....	62
Tabla 8:Costos totales de proyectos con tecnología Fresnel	62
Tabla 9:Simulación de generación eléctrica de la central en el periodo de un año	64
Tabla 10:Importaciones y exportaciones (MWh)	65

Capítulo 1 Generalidades

1.1 Introducción

La tecnología solar termoeléctrica, en la que están basadas las centrales termosolares, consiste en concentrar la radiación procedente del Sol para calentar un fluido (agua, aceite, sales fundidas) y posteriormente producir electricidad. Las primeras centrales comerciales que integraron este tipo de tecnología comenzaron a funcionar en California a mediados de la década de los ochenta.

Tras la crisis del petróleo de 1973, los países industrializados decidieron impulsar la investigación de tecnologías de aprovechamiento de las fuentes renovables. Sin embargo y debido a la reducción en los precios de los carburantes y la consecuente cancelación de las ayudas e incentivos públicos, el mercado de las termosolares se paralizó. En la actualidad las tecnologías termosolares ya cuentan con una gran cantidad de plantas comercial y con una buena cadena de suministro.

Uno de los factores más importantes que determina la ubicación de una planta termosolar es la radiación solar, esto debido a que de este depende que la planta sea viable. La Paz Centro se ubica en una de las regiones del país que experimenta mayor radiación, esto hace que este lugar sea idóneo para implementar plantas de generación que usan la radiación solar como fuente energética, en los puntos de mayor radiación la Paz Centro experimenta una radiación anual de hasta 2,118 kWh/m².

En la actualidad el país no cuenta con la capacidad para abastecer el mercado energético nacional, por lo que requiere importar energía eléctrica de otros países, la hipotética implementación de una planta termosolar en el país ayudaría a abastecer el mercado energético debido a que estas tecnologías tienen la capacidad de producir grandes cantidades de energía eléctrica, avanzando así a la independencia energética. Las posibles tecnologías termosolares para implementar en el país son: colector cilindro parabólico, colector lineal Fresnel, torre de receptor central y disco parabólico.

De todas estas tecnologías termosolares se seleccionará la más adecuada para implementar en el país y se determinará las características que tendría esta planta para operar según las condiciones del país, el costo de la inversión y los beneficios económicos que supondría la realización de un proyecto de estas características.

1.2 Antecedentes, justificación y metodología

1.2.1 Antecedentes

1.2.1.1 *Antecedentes nacionales.*

En los repositorios de tesis nacionales no se encontró ningún tema de investigación relacionado a un estudio para la aplicación de centrales termosolares.

1.2.1.2 *Antecedentes internacionales.*

En la universidad de Cuenca (Ecuador) Cañar Darwin, (2014), realizó una tesis que tuvo como objetivo señalar si la energía solar térmica es posible aplicarla en el campo de la generación de electricidad en el Ecuador mediante el análisis del recurso solar, del impacto ambiental y de las características económicas y técnicas, tomando en cuenta los criterios de cálculo, diseño y operación de una planta solar térmica determinada. Los lugares con potencial solar suficiente se definieron con la ayuda del atlas solar del Ecuador. Se determinó que la ubicación geográfica del Ecuador lo convierte en un país rico en recurso solar debido a que el nivel de insolación diario se mantiene casi constante a lo largo del año y a su vez la tecnología más adecuada para utilizar en la generación de electricidad a partir de la radiación solar es utilizar CCP (colectores cilindro parabólico) Debido a que la tecnología CCP tiene una mayor experiencia comercial, siendo la más madura, de menor coste para generar electricidad y plantas de este tipo ya estén instaladas o en construcción en diversas partes del mundo, es la más recomendable para la aplicación solar termoeléctrica en el Ecuador.

En la universidad Pontificia Comillas (Madrid) Caminero Víctor, (2014), realizó una tesis que tiene como objetivo realizar un análisis económico de viabilidad de una planta termosolar también se expone el concepto de energía solar y realizar un análisis de las posibles localizaciones para un proyecto en España, la localización seleccionada fue las islas canarias más en concreto la isla de Tenerife este lugar fue adoptado debido a que cumple con todos los requisitos necesarios para ejecutar un proyecto termosolar y tras realizar el estudio económico/financiero de la planta se concluyó que es rentable y viable, para ello se empleó dos indicadores: VAN y TIR. Por otro lado, con la realización del proyecto se ha conseguido comprender y adquirir muchos conocimientos relacionados con la energía termosolar y las centrales que hace uso de esta energía. Este proyecto se ha distinguido por su innovación, pues emprende el desarrollo de una central termosolar de 50 MW de tipo torre central.

1.2.2 Justificación

La contaminación que se produce en el mundo debido a procesos industriales y las necesidades de la población en materia energética en los últimos siglos, ha estado contribuyendo al deterioro del ambiente y la calidad de vida, así mismo como al incremento del calentamiento global, esto contribuye a la rápida reducción de las reservas energéticas, por ello es necesario la explotación de nuevas fuentes de energías que sustituyan a los combustibles fósiles para evitar dicho deterioro, a fin de contribuir al desarrollo sostenible mundial.

En la actualidad la matriz energética en Nicaragua está conformada por un 80 por ciento con generación de origen renovable, sin embargo, de ese 80% solo un 0.49% del total generado es energía solar, para poder diversificar más la matriz energética en Nicaragua lo ideal sería aumentar la generación con centrales solares. También porque este tipo de centrales son más amigables con el medio ambiente.

En Nicaragua no se ha realizado ningún estudio para determinar si es posible la explotación de la energía termosolar, por ello es importante realizarlo para sentar precedentes de estas tecnologías en el país, y realizar un primer paso para su futura implementación y acercar al país a la autonomía energética. También para dar a conocer a la sociedad nicaragüense las características y beneficios, entre ellos los relacionados a la sostenibilidad energética y ambiental, de la energía solar térmica.

1.2.3 Metodología

El trabajo monográfico que se realizó corresponde a una investigación descriptiva dado que en ella se caracteriza el proceso de generación eléctrica a través de la tecnología termosolar, estableciendo las principales características del proceso, así como los diferentes tipos de tecnologías existentes en la actualidad con sus correspondientes capacidades de producción de energía eléctrica.

De la misma manera, la investigación es proyectista, Porque hay situaciones que no están marchando como debieran, y que se desean modificar, lo que no está marchando bien es la contaminación que produce la generación de electricidad con tecnologías convencionales y es lo que se desea modificar, este trabajo monográfico permite dar respuesta a la necesidad de utilizar fuentes renovables en la generación de electricidad con nuevas tecnologías. Por otra parte, la estrategia general para la recolección y desarrollo de la información en función de los objetivos propuestos está dirigida a un diseño de campo, no experimental, transaccional y descriptivo.

Cuando se desarrolla un proyecto se debe de planificar como se va a realizar, es decir, se debe de definir una metodología, por lo cual esta metodología pretende lograr que el proyecto se lleve a cabo correctamente cumpliendo con el plazo establecido. La metodología para estudiar es de tipo cascada, esta metodología consiste en que cuando finaliza una fase comienza la siguiente, retomando los datos facilitados por la fase anterior. En cada una de las fases se va avanzando el proyecto adquiriendo en cada una de ella un nivel de detalle superior.

Para finalizar este proyecto de tesis se cumplieron con las siguientes fases en el orden establecido:

- Documentación previa.
- Determinación de los requisitos
- Ubicar las zonas con potencial solar
- Seleccionar la ubicación óptima para la central
- Elegir la tecnología termosolar más adecuada
- Calcular la capacidad de generación de energía eléctrica

Como se estableció anteriormente el primer paso a realizar en esta metodología es la documentación previa con esta información se pueden realizar los siguientes puntos que corresponden a los objetivos del presente proyecto de tesis, en la identificación y selección de las zonas con potencial termosolar será necesario determinar los requisitos requeridos por estas mismas, para esto se utilizó mapas de radiación solar de Nicaragua, MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis de la NASA en la recopilación de datos meteorológicos y climáticos.

Para seleccionar la tecnología a utilizar se aboco a estudios realizados en los países que van a la vanguardia de estas tecnologías y determinar cuál es el tipo de tecnología más confiable y que se adapte al recurso solar de la zona seleccionada, para determinar el impacto económico y ambiental provocado al implementar una central termosolar de un determinado tipo y para la determinación de la potencia con que se contara utilizando métodos de cálculos ya establecidos según la tecnología seleccionada.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar un estudio de generación de energía eléctrica con centrales termosolares en la **PAZ CENTRO**, municipio del departamento de León.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar y seleccionar las zonas con potencial adecuado de acuerdo a las condiciones necesarias para su posible explotación y uso en la producción de electricidad.
- Exponer las tecnologías termosolares existentes en el mundo y las experiencias de su operación para determinar el tipo de central más adecuada para implementar en la zona.
- Calcular la potencia eléctrica con la que se podría contar al implementar una planta termosolar según la zona seleccionada.
- Determinar el impacto económico y ambiental de una central termosolar.

1.4 Energías renovables

Energía renovable es la energía que se obtiene de fuentes naturales inagotables. Se denomina renovable porque se encuentra en permanente renovación por medios naturales y porque dependen de ciclos cerrados que a su vez dependen de factores externos a la capa terrestre donde se aprovechan las energías renovables. [22] [1]

Entre las fuentes más importantes de energía renovable están las que provienen directamente del sol (eólica, hidráulica, fotovoltaica, biomasa, térmica), la geotermia y aquellas relacionadas con los océanos. [2]

La energía o irradiación solares es el motor para el movimiento de las masas de agua y aire, así como el responsable de la vida. Las energías eólicas, hidráulica, fotovoltaica, biomasa, térmica, etc. dependen de la energía proveniente del sol ver fig.1.

Por otro lado, la energía geotérmica se obtiene del calentamiento interno de la Tierra. Es la energía que se emite desde el centro del planeta hacia sus capas exteriores.

Los océanos son masas de agua en movimiento que se produce de dos formas. El movimiento total, es decir se mueve como un solo cuerpo de lado a lado, este fenómeno se denomina marea, causada por el acercamiento o distanciamiento de la luna a la Tierra. El aprovechamiento de la energía producida por las mareas se denomina energía mareomotriz.

La energía undimotriz aprovecha el movimiento superficial debido a las corrientes de aire que chocan con el agua de los océanos, el agua se eleva formando ondas u olas, por otra parte, está la energía maremotérmica la cual se basa en el calentamiento de la superficie marina debido a la radiación del sol, y aprovechar la diferencia de temperatura entre la superficie y las profundidades del mar.

Las ventajas que proporcionan las energías renovables en comparación a las no renovables son:

- No producen emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes a la atmósfera.
- Son inagotables
- Evitan dependencia energética con el exterior.

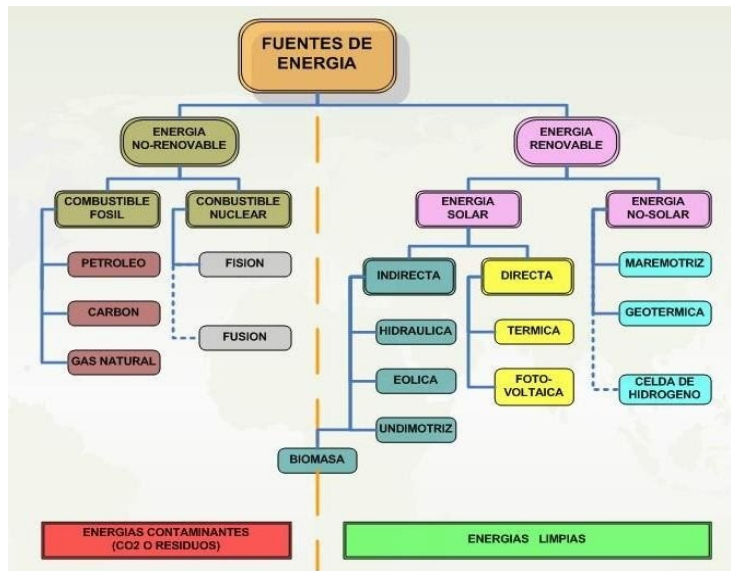


Figura 1: Tipos de fuentes energéticas
Fuente: <https://sites.google.com/site/enerrenovab/home/fuentes-de-energia>

1.5 Energía solar

La energía solar es una fuente de energía abundante, no contaminante y se encuentra disponible, en mayor o menor medida, en cualquier parte del planeta, pudiendo ser colectada y transformada en energía térmica o eléctrica en el lugar de utilización.

Las tecnologías solares se clasifican en pasivas y activas, según como capturan, convierten y distribuyen la energía solar.

La energía solar activa es el aprovechamiento de la luz del sol para producir energía eléctrica o mecánica mediante el uso de ciertas tecnologías o equipamientos. Estos pueden ser bombas de agua, ventiladores, placas solares o colectores, entre otros.

La energía solar pasiva aprovecha directamente la energía directa procedente del sol sin transformarla. Por tanto, no precisan de ningún dispositivo eléctrico para llevar a cabo la transformación de una corriente a otra y, en su caso, para la acumulación de energía, como sí sucede con la energía activa. Por ejemplo, en el diseño de edificios solares pasivos los elementos constructivos están diseñados para cumplir dos funciones: [3]

- Recolectar, almacenar y distribuir energía solar en forma de calor en el invierno.
- Rechazar el calor solar en el verano

1.6 Tecnologías utilizadas en la explotación del recurso solar

La energía solar se clasifica de la siguiente manera según la tecnología utilizada para su explotación: [4]

Energía Solar-Térmica Activa

Para uso de baja temperatura (entre 35 °C y 60 °C), se utiliza en casas para producir agua caliente para uso sanitario y calefacción; de media temperatura, alcanza los 300 °C; y de alta temperatura, alcanza los 2000 °C. Esta última, se consigue al incidir los rayos solares en espejos, que van dirigidos a un reflector que lleva a los rayos a un punto concreto y son usadas para producir electricidad con un ciclo termodinámico convencional a partir de un fluido calentado a alta temperatura. Estas tecnologías se describirán con más detalle en el siguiente capítulo

Energía Solar-Térmica Pasiva

Aprovecha el calor del sol sin necesidad de sistemas mecánicos, por ejemplo, la denominada arquitectura bioclimática.

Energía Solar Fotovoltaica

Es utilizada para convertir la energía directa proveniente del sol en electricidad se obtiene mediante la utilización de dispositivos electrónicos, denominados celdas solares o fotovoltaicas, que hacen uso de un proceso físico denominado efecto fotovoltaico

Energía Solar Híbrida

Este tipo de energía combina la energía solar activa con otro tipo de energía, la cual puede ser biomasa, Eólica, de carbón o petróleo.

Energía Eólica solar

Este tipo de tecnología funciona gracias a la convección de aire provocado por una chimenea pintada de color negro, esta chimenea provoca que el aire en su interior se caliente y haga circular aire desde la base de la chimenea hacia arriba, en la base están ubicados aerogeneradores que convierten la corriente de aire en energía eléctrica

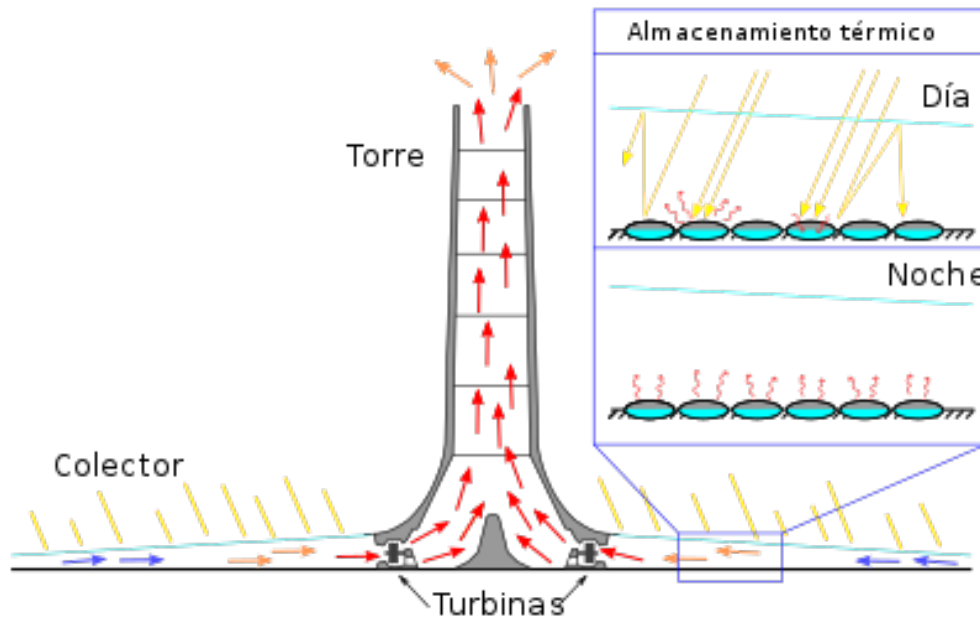


Figura 2: Energía Eólica Solar.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Torre_solar#/media/Archivo:Torresolar2.svg

1.7 La energía solar en el contexto mundial

En los últimos años, el rápido crecimiento de la sociedad a nivel mundial está provocando una demanda energética sin precedentes. Según estimaciones recogidas en el World Energy Outlook (WEO) de 2018 (Agencia Internacional de Energía (AIE), 2018), para el período comprendido hasta 2050, la demanda de energía global sufrirá un importante aumento triplicando su capacidad, como puede verse en la Figura 3, aún a pesar de que la recuperación de la economía mundial y las perspectivas de crecimiento económico siguen siendo inciertas. Los responsables del 90% del incremento de esta demanda serán países emergentes, como China, que consolidará su posición como máximo consumidor mundial de energía, aunque los índices de crecimiento de consumo energético serán incluso más rápidos en la India, Indonesia, Brasil y Oriente Medio.

Esta nueva situación acentúa la preocupación por la seguridad de abastecimiento. Algunas previsiones, como las recogidas en el Statistical Review of World Energy de 2011 (BP: British Petroleum, 2011), hablan de que las reservas probadas de petróleo, base energética de nuestra sociedad, podrían cubrir la demanda actual durante sólo 50 años más. En una situación parecida se encontrarían las reservas de gas, que el mismo estudio cifra en 60 años. Por el contrario, las reservas de carbón estarían en mejor situación, pudiendo abastecer a la sociedad al menos durante los próximos 150 años a los ritmos actuales de consumo.

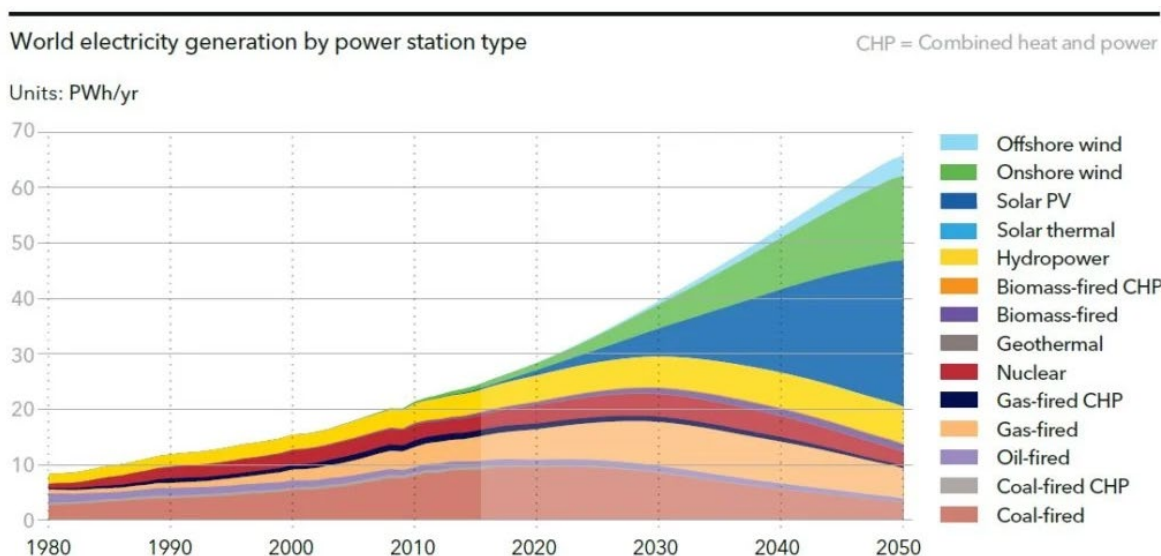


Figura 3: Demanda mundial de energía primaria por combustible.
Fuente: IEA (International Energy Agency), World Energy Outlook 2018

El gran reto de la humanidad consiste en alcanzar un desarrollo sostenible según la ONU. Esto es, conseguir un crecimiento económico y una mejora del nivel de vida en equilibrio con unas condiciones ecológicas y sociales que permitan que ese desarrollo pueda perdurar en el tiempo. O, dicho de otro modo: “Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades”; tal y como se definió en el documento conocido como Informe Brundtland (1987), fruto de los trabajos de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas.

En general, los límites de los recursos naturales sugieren tres reglas básicas en relación con los ritmos de desarrollo sostenibles según “Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030” de la ONU

- Ningún recurso renovable deberá utilizarse a un ritmo superior al de su generación.
- Ningún contaminante deberá producirse a un ritmo superior al que pueda ser reciclado, neutralizado o absorbido por el medio ambiente.
- Ningún recurso no renovable deberá aprovecharse a mayor velocidad de la necesaria para sustituirlo por un recurso renovable utilizado de manera sostenible.

En el contexto energético mundial, las energías renovables tienen un potencial físico ilimitado, como demuestra la Figura 4. En ella se observa cómo sólo la radiación solar tiene un potencial aproximado 1.800 veces superior al consumo actual de energía primaria mundial.

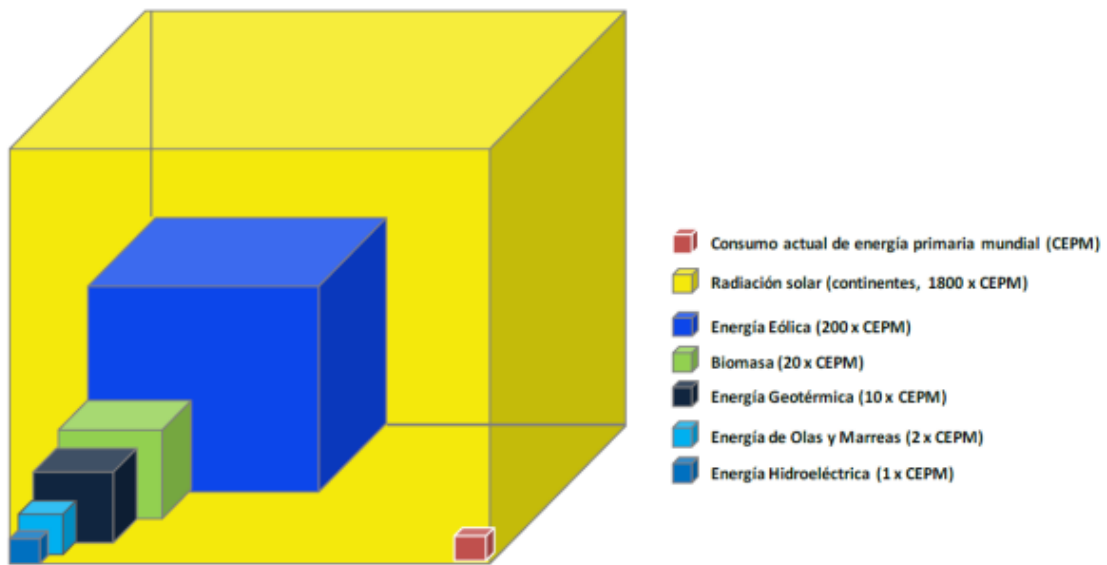


Figura 4: Potencial teórico físico de las energías renovables
Fuente: Pau Solanilla Franco y Álvaro Ponce Plaza, *Energías renovables desplegadas: hacia las misiones sostenibles*, IEEE (Instituto Español de Estudios Estratégicos).

Capítulo 2 Tipos de centrales termosolares

2.1 Centrales termosolares

La generación eléctrica a partir de energía térmica se logra a través de un ciclo termodinámico, transformando calor en energía mecánica y a su vez en energía eléctrica mediante un generador eléctrico.

Las plantas termosolares están divididas en partes diferenciadas independientemente de su tipo estas partes son:

- Sistema de captación solar
- Fluido de trabajo
- Ciclo termodinámico
- Generador eléctrico

Ventajas del uso de la energía térmica

- La energía del sol puede considerarse inagotable comparada con la escala humana.
- Su impacto ecológico es mínimo.
- Ayuda a reducir el consumo de combustibles fósiles.

Desventajas del uso de la energía térmica

- La radiación solar requiere de concentración para poder aprovecharla
- Solo puede ser aprovechada en horario diurno.
- Solo puede ser aplicado en algunas zonas geográficas para ser rentable.

2.2 Tipos de tecnología de centrales termosolares

Los tipos de centrales termosolares son 4:

- concentrador cilindro-parabólico (CCP)
- lineales Fresnel
- Centrales de disco parabólico
- Centrales de torre

2.2.1 Centrales de torre

Las centrales de torre se caracterizan por tener cientos o miles de reflectores planos denominados heliostatos, los cuales son orientados individualmente según la posición del sol para que dirijan la radiación solar y concentrarla unas 600-1000 veces en un receptor que se sitúa en la parte superior de la torre. En el receptor el calor es transmitido a un fluido con el objetivo de generar vapor y expandirlo posteriormente en una turbina acoplada a un generador eléctrico.

El funcionamiento de esta tecnología se basa en tres elementos característicos: [14]

- Los heliostatos captan la radiación solar y la dirigen hacia el receptor. Están compuestos por una superficie reflectante, una estructura que les sirve de soporte, y mecanismos que permiten orientarlo para ir siguiendo el movimiento del Sol.
- El receptor transfiere el calor recibido a un fluido de trabajo, que puede ser agua, sales fundidas, etc. Este fluido se encarga a su vez de transmitir el calor a otra parte de la central termosolar, donde se obtiene vapor a alta temperatura para producción de electricidad mediante el movimiento de una turbina.
- La torre sirve de soporte al receptor, que se sitúa a cierta altura sobre el nivel de los heliostatos con el fin de evitar, o como mínimo reducir, las sombras y los bloqueos.

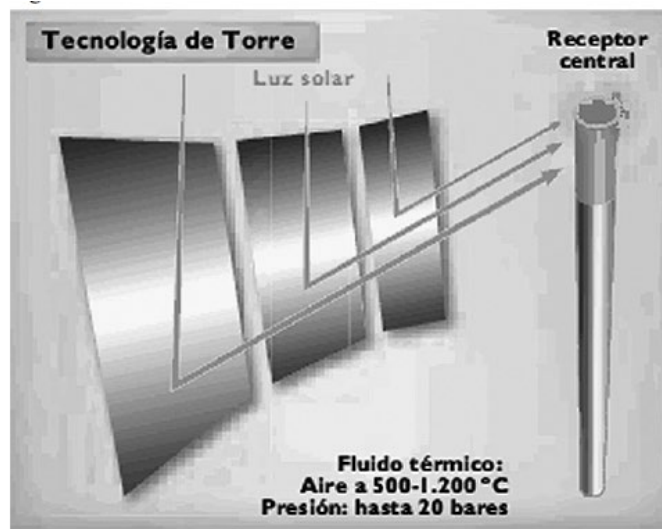


Figura 5: Tecnología de torre

Fuente: Alfonso Caño (2009), *Tecnologías de transformación solar-térmica*

Las altas temperaturas disponibles en las torres solares se pueden utilizar no solo para impulsar una turbina de vapor, sino también para turbinas de gas y sistemas de ciclo combinado. Dicho sistema puede alcanzar hasta un 35% de eficiencia pico y un 25% de eficiencia eléctrica solar anual cuando se acopla una planta de energía de ciclo combinado. [16]

La eficiencia de estas plantas suele ser mejor que las plantas cilindro parabólicas, ya que las temperaturas de los fluidos son más altas. Esto conduce a un mejor rendimiento termodinámico y también facilita el almacenamiento, esto debido a que se necesita menor volumen de sales, por la mayor diferencia de temperatura entre los tanques frío y caliente.

Con la tecnología probada, ahora hay varios proyectos emblemáticos que operan actualmente en el mundo. Tres plantas de tamaño comercial de este tipo están ubicadas en España, entre las que destacan el complejo solar solucar, con la torre solar PS-10 de 11 MW operativa y la torre PS-20 con una capacidad de 20 MW.



Figura 6: Central termosolar ps-20 y ps-10
Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/PS20>

2.2.2 Tecnología Cilindro parabólica

Este tipo de tecnología los espejos captadores tienen la forma de un cilindro parabólico, el cual en todo momento son orientados según la posición del sol, los rayos solares recibidos son concentrados unas 70-100 veces en un tubo receptor ubicado en la línea focal del cilindro donde se logran temperaturas operativas que oscilan entre 350 y 550°C. Un fluido de transferencia térmica es bombeado por los tubos receptores y posteriormente enviado a intercambiadores de calor en los cuales se genera vapor sobrecalentado y se realiza un ciclo convencional de turbina de vapor. [15]

El campo solar de esta clase de tecnología está compuesto principalmente por los siguientes elementos: [14]

- El reflector cilindro parabólico, que debe reflejar y concentrar sobre el tubo absorbedor la radiación que incide sobre su superficie. Esta superficie especular se consigue con películas de plata o aluminio sobre un soporte que proporcione la rigidez suficiente, como la chapa metálica, el vidrio o el plástico.
- El tubo absorbedor, que está formado por dos tubos concéntricos separados por un anillo vacío. El tubo interior por el que circula el fluido que se calienta es metálico y el tubo exterior de cristal. El fluido que circula por el tubo depende de la tecnología. Para bajas temperaturas ($<200^{\circ}\text{C}$) se suele utilizar agua desmineralizada con etileno-glicol, y para mayores temperaturas (200°C - 550°C) se utiliza aceite sintético.
- El sistema de seguimiento del Sol, que consiste en un dispositivo que gira los captadores alrededor de un eje.
- La estructura metálica del colector, cuya misión es dar rigidez al conjunto de elementos que lo componen.

Dentro de las tecnologías de concentración solar esta es la más madura, los primeros sistemas se instalaron en 1912 cerca de El Cairo en Egipto para generar vapor para una bomba que suministraba agua para riego. En ese momento, esta planta era competitiva con las instalaciones de carbón en regiones donde el carbón era caro.

Actualmente, la tecnología cilindro parabólica es la más utilizada en el mundo, especialmente en España y Estados Unidos, donde la potencia de las plantas en operación supera los 2,370 MW y los 1,836 MW, respectivamente. Las plantas varían en tamaño de 5 a 280 MW. La tecnología cilindro parabólica se considera una tecnología madura por ejemplo en términos de cadena de suministro, varios fabricantes fabrican actualmente esta tecnología. Además, existe una buena experiencia en ingeniería, adquisiciones y construcción y más de 20 años de experiencia operativa a gran escala permiten una buena confianza en la operación. Por lo tanto, los proyectos que utilizan esta tecnología se consideran de bajo riesgo.

2.2.3 Concentradores lineales Fresnel

Este tipo de tecnología se basa en las filas de reflectores solares, al igual que la de cilindro parabólicos. Pero en este caso los concentradores son planos o con una curvatura muy pequeña, focalizando la radiación en un receptor fijo situado sobre los espejos.

Estos concentradores lineales son similares a los concentradores cilíndricos parabólicos, pero desarrollados a lo largo de un plano. Los espejos se colocan sobre una estructura giratoria, movida por un pequeño motor, que permite el correcto seguimiento del sol. Las ventajas respecto a los concentradores cilíndrico parabólico son: una menor superficie al viento, eliminación de las juntas rotativas al tener el tubo absorbedor fijo, la ocupación del terreno es aproximadamente la mitad de los colectores cilindros parabólicos, las estructuras portátiles son sencillas y de fácil instalación y las cimentaciones son más pequeñas. Pero la principal ventaja de los concentradores lineales es que se facilita la generación directa de vapor al utilizar agua como fluido caloportador, eliminándose la necesidad de intercambiadores de calor.

La principal desventaja de esta tecnología es debido a que se producen sombras entre las líneas de espejos, sobre todo al amanecer y al atardecer, lo que reducen su rendimiento entre un 25% y un 30%. Sin embargo, la sencillez de estos sistemas conlleva una reducción de los costes que compensa su menor rendimiento. [14]

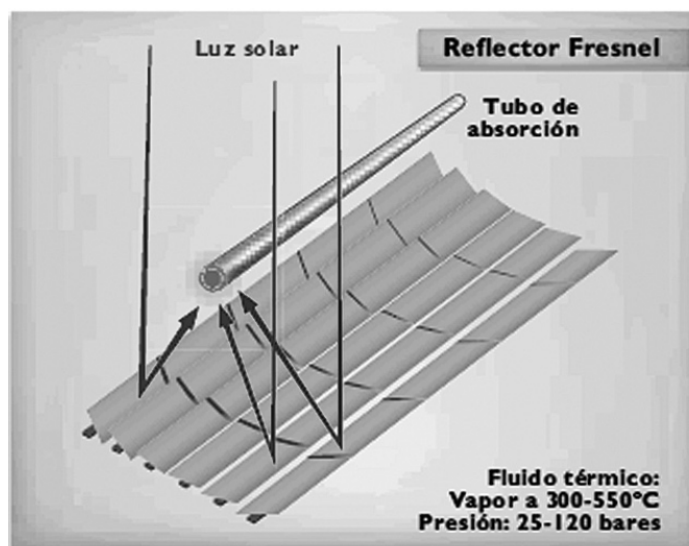


Figura 7: Tecnología de reflectores Fresnel
Fuente: Alfonso Caño (2009), Tecnologías de transformación solar-térmica

El diseño tipo Fresnel utiliza materiales reflectores y componentes absorbentes menos costosos, tiene menor rendimiento óptico y rendimiento térmico, pero esto se compensa con menores costo de inversión, operación y mantenimiento. El sistema Fresnel también proporciona un espacio semi-sombreado, que puede ser particularmente útil en climas desérticos para la agricultura, actuando como una persiana grande y segmentada que podría dar sombra a cultivos, pastos y cuerpos de agua para protegerlos de evaporación excesiva.

Más de 200 MW de plantas lineales Fresnel están actualmente en operación o en construcción. Después de una primera aplicación a escala piloto en Australia, se desarrollaron y probaron algunas nuevas plantas piloto en España y estados unidos.

En 2012 entró en funcionamiento la primera planta comercial Puerto-Errado-2 de 30 MW. Francia ya ha construido dos plantas comerciales adicionales con esta tecnología, estas plantas, de 9 MW y 12 MW denominadas Llo y Alba Nova 1.



Figura 8: Central termosolar Fresnel puerto errado 2
Fuente: http://www.cspfocus.cn/en/study/detail_93.htm

2.2.4 Disco parabólico Stirling

Las centrales de discos parabólicos con motores Stirling están compuestas por dos elementos básicos: un concentrador o disco parabólico y un generador de energía. Cada unidad, compuesta por estos dos elementos, produce electricidad de manera independiente.

Se trata de una probada tecnología que se basa en concentrar la radiación solar incidente sobre el disco parabólico en un receptor colocado en su foco, en el que se encuentra acoplado un transformador termomecánico. El motor Stirling consta de dos cilindros, uno es el foco frío y el otro es el caliente, unidos por un conducto. El gas de trabajo (generalmente, helio o hidrógeno) se mueve entre el cilindro caliente, que es el que recibe la radiación, y el cilindro frío por medio de un juego de pistones y bielas unidas a un volante común.

Este tipo de tecnología elimina la necesidad de utilizar agua en la generación de energía, lo que supone una ventaja respecto a los diseños con las otras tecnologías. Por otro lado, como cada unidad supone un equipo individual, estos discos parabólicos no resultan tan adecuados para su utilización en grandes centrales, pero sí para la generación distribuida y descentralizada o en instalaciones remotas e independientes, al ser modulables y fáciles de acoplar en terrenos no planos.



Figura 9: Central termosolar con disco parabólico

Fuente: <https://themorningstarg2.wordpress.com/category/uncategorized/>

2.3 Tecnologías para la generación de vapor

La finalidad básica de cualquier sistema solar con colectores es la captación de la radiación solar directa para transformarla en energía térmica y aplicarla dentro de algún proceso como sustituto de las fuentes energéticas convencionales, dado que el vapor es el medio de transferencia de calor más común en los procesos industriales, este vapor puede producirse de las tres formas siguiente:

2.3.1 Producción de vapor mediante un intercambiador de calor.

Este es un sistema utilizando en los colectores solares con fluido de trabajo que una vez calentado transfiera la energía térmica a una caldera sin llama (intercambiador de calor) donde se produce el vapor que alimenta el proceso industrial. El aceite es un fluido de trabajo muy común para este tipo de sistemas, porque se comporta como un buen medio de transferencia de calor y posee una presión de vapor moderada, lo que simplifica el diseño de las tuberías del campo solar.

El intercambiador de calor aceite/agua utilizado en estos sistemas, es un equipo costoso porque requiere tubos de aleación anticorrosión, además la existencia del intercambiador obliga a que la temperatura del aceite a la salida del campo de colectores sea algo superior a la temperatura del vapor producido, para compensar las pérdidas térmicas y las irreversibilidades del intercambio de calor.

2.3.2 Producción de vapor mediante expansión súbita (Flashing)

Circulando agua presurizada en los colectores y convirtiéndola parcialmente en vapor en un tanque de expansión súbita (flashing). Este método se ha venido usando solamente para producir vapor a temperaturas no demasiado altas (menos de 200 °C) debido a la alta presión que se produciría en los tubos absorbedores de los colectores si la temperatura del vapor es más alta.

Este sistema requiere que el agua a la entrada de los colectores ingrese a alta presión, la necesaria para que el agua no se evapore en el colector sino únicamente en el tanque de expansión, el proceso de evaporación de este sistema se hace a entalpía constante, esto quiere decir que la energía necesaria para obtener una cantidad de vapor a partir del agua líquida es la misma que la energía cedida por el agua que permanece en fase líquida al pasar de las condiciones iniciales a las finales.

Por cuestiones termodinámicas, la cantidad de agua que puede transformarse en vapor mediante este proceso es menor del 10%, otra limitación de este proceso es la imposibilidad de producir vapor sobrecalentado.

2.3.3 Producción Directa de vapor

La Evaporación de agua directamente en los tubos absorbedores de los colectores es una opción muy atractiva porque la temperatura media del colector es inferior a la temperatura del vapor de salida y porque el cambio de fase reduce el caudal del agua necesario por la bomba de circulación, esto quiere decir que las pérdidas térmicas en los colectores son menores en este caso que en los dos anteriores, y que los consumos eléctricos de las bombas que alimentan el campo solar son menores.

Los problemas de esta tecnología radicaban en la existencia de un flujo bifásico en el interior de los tubos absorbedores, que suponía turbulencia en el fluido, así también la falta de datos experimentales. Esto ha cambiado en los últimos años ya que se han realizado experimentos para demostrar la viabilidad técnica y se ha demostrado que es posible producir directamente vapor sobrecalentado a 10 Mpa a 673 K (400 °C). En la actualidad ya existen plantas comerciales con este tipo de tecnología, demostrando así su competitividad y aplicabilidad en el mercado.

2.4 Comparación de las diferentes tecnologías termosolares

2.4.1 Aplicación

Cilindro parabólico

Plantas conectadas a la red, calor de proceso medio a alto Capacidad solar de una sola unidad más grande hasta la fecha 280 MW en los EE. UU

Receptor Central

Plantas conectadas a la red, calor de proceso de alta temperatura. La capacidad solar de una sola unidad más grande hasta la fecha 392 MW en los EE. UU.

Receptor lineal Fresnel

Plantas conectadas a la red o generación de vapor para uso en centrales térmicas convencionales. La capacidad solar de una sola unidad más grande hasta la fecha es de 125 MW en la India.

Disco parabólico

Sistemas pequeños independientes, sin conexión a red, o en parque más grandes de discos conectados a red. Máxima potencia por central hasta la fecha es de 5MW EE.UU

2.4.2 Ventajas

Cilindro parabólico

- Disponible comercialmente: más de 16000 millones de KWh de experiencia operativa. Potencial de temperatura de funcionamiento hasta 500 °C.
- Eficiencia de planta neta anual probada comercialmente del 14% (radiación solar a producción eléctrica neta).
- Modularidad.
- Buen factor de uso de tierra.
- Mínima demanda de materiales.
- Concepto híbrido probado.
- Capacidad de almacenamiento.

Receptor Central

- Buenas Perspectivas a medio plazo para altas eficiencias de conversión, temperatura de funcionamiento potencial superior a 1000°C.
- Almacenamiento a alta temperatura.
- Operación híbrida posible.
- Mejores opciones para usar en sitios no planos.

Receptor lineal Fresnel

- Fácilmente disponible.
- Los espejos planos se pueden comprar y doblar en el sitio, bajo costo de fabricación.
- Operación híbrida posible.
- La tecnología solar más eficiente en el uso de tierra, que genera entre 1,5 y 3 veces más energía por hectárea de tierra.
-

Disco parabólico

- Eficiencias de conversión solar pico a electricidad neta de más del 30%.
- Modularidad
- Integra de la forma más efectiva el almacenamiento térmico en una central grande.
- Experiencia operativa de primeros proyectos de demostración.
- Fácil fabricación y producción en serie de piezas.
- No requiere agua para refrigerar el ciclo

2.4.3 Desventajas

Cilindro parabólico

El uso del aceite como medio de transferencia térmico, restringe las temperaturas operativas a 400 °C, por lo que se obtienen moderadas cantidades de vapor.

Receptor Central

Los valores de rendimiento anual proyectados, la inversión y los costos operativos necesitan pruebas a mayor escala en la operación comercial

Receptor lineal Fresnel

Ingreso reciente al mercado, solo pequeños proyectos en operación

Disco parabólico

- No hay ejemplos de uso comercial a gran escala.
- Objetivos de costes previstos de producción en serie aun por probar.
- Menor potencial de disponibilidad para integración a la red

2.5. Costos de la energía termosolar con respecto a otras energías renovables.

La década de 2010 a 2020 representa un periodo en el cual se produjo una notable reducción de costos para las tecnologías de energía solar y eólica. La combinación del apoyo de políticas específicas y el impulso de la industria ha hecho que la electricidad renovable de la energía solar y eólica pase de un nicho costoso a una competencia directa con los combustibles fósiles. En este proceso ha quedado claro que las energías renovables se convertirán en la columna vertebral del sistema eléctrico y ayudarán a descarbonizar la generación de electricidad, con costos más bajos en un futuro.[17]

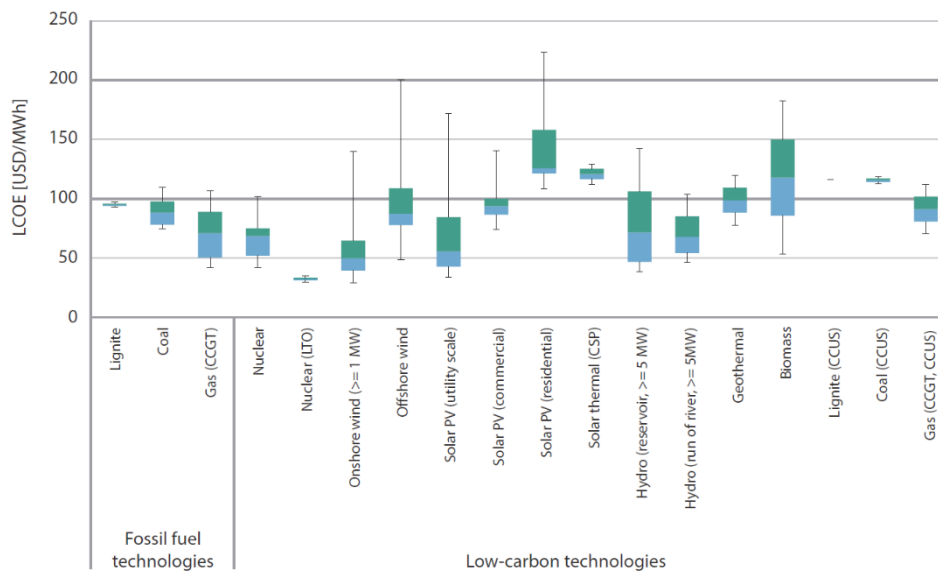


Figura 10: Costo de generación de energías según su fuente
Fuente: [18]

El costo promedio de la electricidad a nivel mundial de la energía solar fotovoltaica a gran escala cayó un 85% entre 2010 y 2020, de 0.381 USD/kWh a 0.057 USD/kWh, ya que los costos de instalación cayeron de 4,731 USD/KW a 883 USD/KW.

Para los proyectos eólicos terrestres, el costo promedio ponderado global de la electricidad entre 2010 y 2020 cayó un 56%, de 0.089 USD/kWh a 0.039 USD/kWh, esto se debe principalmente por que los costos totales de instalación disminuyeron de 1,971 a 1,355 USD/kW. En comparación con la energía solar fotovoltaica, donde las reducciones de los costos de la electricidad de deben principalmente a la caída de los costos totales de instalación, los costos de las instalaciones eólicas fueron impulsados de manera más uniforme tanto la caída de los precios de las turbinas como por el equilibrio de los costos de las plantas, y los factores de capacidad más altos debido a turbinas de última generación.

Durante este mismo periodo, el costo global promedio de la electricidad con concentradores termosolares cayó un 68%, de 0.34 USD/kWh a 0.108 USD/kWh.

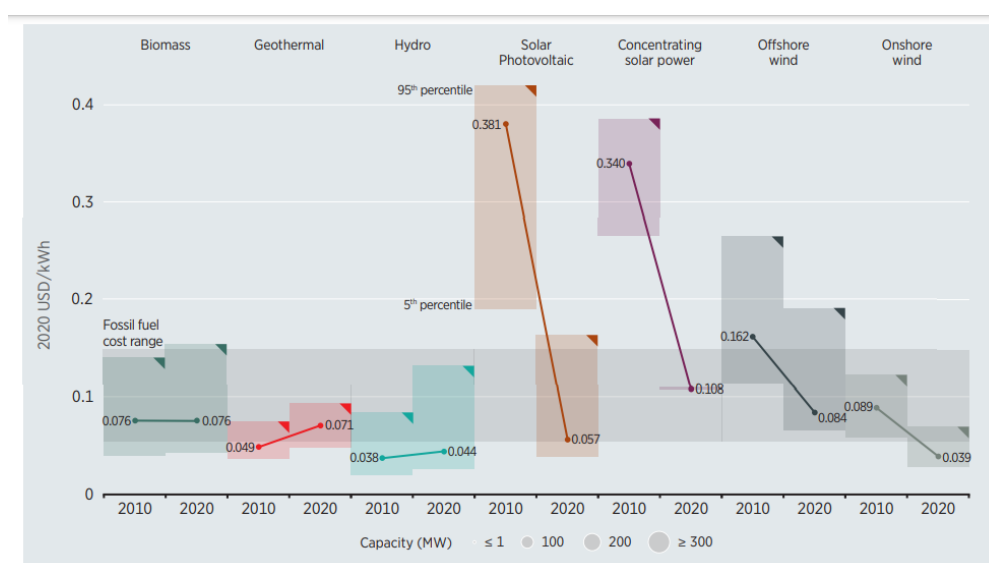


Figura 11: Costo de generación electricidad de energías renovables
Fuente: [17]

2.6 Energía termosolar frente a otras energías.

2.6.1 Energía termosolar frente a fotovoltaica

Para comenzar los sistemas termosolares producen energía eléctrica convirtiendo la energía del sol en calor de alta temperatura, esto se logra desviando los rayos solares y concentrándolos en un solo punto, luego esta energía concentrada se usa para impulsar un motor térmico y un generador eléctrico. Las plantas que utilizan este sistema constan de dos partes: una que recolecta energía solar y la convierte en calor, y la otra que convierte la energía térmica en electricidad. [31]

Los paneles solares fotovoltaicos, por otro lado, son completamente diferentes a los termosolares. A diferencia de esta que utiliza la energía del sol, los paneles fotovoltaicos (PV) utilizan la luz del sol. En otras palabras, la fotovoltaica es la conversión directa de la luz en electricidad. La forma en que esto funciona es que las células solares fotovoltaicas absorben la luz, y liberan los electrones. Y luego una vez que fluyen los electrones sueltos, se crea una corriente, y esta corriente luego se capta y se transfiere a los cables, generando así una corriente continua (CC). Una vez que se genera la corriente eléctrica continua, se convierte en CA, para que se distribuya a la red eléctrica. [30]

Los sistemas termosolares son capaces de almacenar energía mediante el uso de tecnologías de almacenamiento de energía térmica (TES). Como resultado, pueden usarlo en momentos en que hay poca o ninguna luz solar, como durante los días nublados o durante la noche, para generar energía eléctrica. Debido a la capacidad de los termosolares para almacenar energía, se incrementa la penetración de esta tecnología en la industria de generación eléctrica ya que ayuda a superar problemas de irregularidad.



Figura 12: Sistema de almacenamiento térmico
Fuente: <https://www.energias-renovables.com/termosolar/la-termosolar-podria-aportar-al-sistema-electrico-20201020>

Por otro lado, los paneles fotovoltaicos no son capaces de producir o almacenar energía térmica ya que utilizan la luz solar directa en lugar del calor del sol. Y además de eso, el almacenamiento de electricidad, por ejemplo, en baterías, no es fácil ni económicamente viables a niveles de potencias elevadas.

Debido a esto, en términos de eficiencia y almacenamiento de energía, las tecnologías de almacenamiento de energía térmica son mejores, las que convierten a los sistemas termosolares en la opción mucho más atractiva para la generación de energía a gran escala. Además, dado que los sistemas termosolares pueden producir un exceso de energía y almacenarlo para uso futuro, puede ayudar a mejorar el rendimiento financiero y también la capacidad de flexibilidad en la red eléctrica.[31]

Con todas las comparaciones hechas entre la energía termosolar y la fotovoltaica, se puede tener la percepción de que estas dos están compitiendo entre sí. A primera vista, tiene mucho sentido hacer esta conclusión, dado que ambas tecnologías se sitúan en la industria de la energía solar.

Como ya se estableció anteriormente, la termosolar genera electricidad utilizando principalmente el calor del sol. Esto haría que esta tecnología fuera de tipo térmico y por ello, la energía termosolar está compitiendo con otras fuentes de energías que son de naturaleza térmica. Hay muchas de este tipo, pero la fuente de energía con la que la termosolar está compitiendo realmente es el Gas Natural y la biomasa.[29]

2.6.2 Energía termosolar frente a la generación con gas natural.

La razón por la que las Centrales termosolares compiten con el gas natural es simplemente por el hecho de que ambos son despachables. Dado que la termosolar absorbe el calor del sol para generar electricidad, se puede enviar cuando sea necesario. Asimismo, el gas natural puede extraerse de pozos de gas natural o de petróleo crudo y luego almacenarse en plantas de procesamiento para ser utilizado en la generación de energía. Básicamente, tanto la termosolar como el gas natural son formas atractivas de generar energía debido a su capacidad de despacho. Pero desafortunadamente, entre los dos, el gas natural es el preferido, simplemente por su precio asequible.

El hecho de que el gas natural sea la opción preferida plantea un gran problema para todos nosotros. Para empezar, el gas natural no es seguro para el medio ambiente, al igual que los demás combustibles fósiles, aunque comparado otras maneras no renovables de generar energía el gas natural no emite menos emisiones durante la generación, pero durante la extracción del subsuelo y el transporte libera metano que es 20 veces más potente que el dióxido de carbono.

Otra desventaja de la generación con gas natural es el hecho de que tiene costos de combustibles volátiles, debido a que sus precios son impredecibles. Puede ser razonable ahora, pero con el tiempo, cuando los recursos se agoten, o debido a una crisis política, estos precios definitivamente se dispararán.[29]

2.7 Requisitos para implementar plantas termosolares

Las plantas de generación eléctrica requieren ciertas condiciones para que el lugar donde se ubiquen sean las correctas y principalmente para que los proyectos sean rentables.

En caso de las plantas de generación con tecnología termosolar, dependen de los siguientes parámetros para tener un buen desempeño:

- Radiación
- Nubosidad
- Vientos
- Pendiente
- Superficie
- Recursos Hidráulicos
- Accesibilidad

2.7.1 Radiación

En el Centro de Investigaciones energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) plantea que este criterio es el más importante para la localización de las plantas termosolares. Por lo que se consideró como la variable fundamental para determinar las áreas con mayor potencial. La radiación solar directa que se debe considerar, al momento de la búsqueda de áreas potenciales, es de 1.700 Kwh/m² al año ó 5 Kwh/m² al día, otros autores recomiendan una radiación que ronde los 2000 Kwh/m². [11]

2.7.2 Nubosidad

Para que la instalación de una planta termosolar sea factible, se necesita un área que reciba la mayor cantidad de radiación directa, es decir, que exista un alto porcentaje del año con días despejados. Las mejores zonas de aprovechamiento son las áreas con 3.000 horas de Sol al año, aunque también son favorables las áreas que poseen alrededor de 2.300 horas. [12]

2.7.3 Vientos

Estas instalaciones solares, debido a sus características de diseño, son sensibles a fuertes rachas de viento que puedan producirse, causando daños estructurales importantes en la planta y aumentando los costos de diseño. La razón principal es que los heliostatos presentan una forma aplanada o en caso de otros colectores presentan resistencia al viento.

2.7.4 Pendiente

Este es un aspecto importante al localizar las plantas en terrenos no muy accidentados, ya que tanto el campo de helióstatos como los concentradores necesitan zonas planas. Los únicos lugares para considerar serán solo las áreas con pendientes menores a 3%. Esto con el fin de evitar las sombras que se puedan generar. [11]

2.7.5 Superficie

Se necesitan grandes áreas para la localización de este tipo de planta, esto se debe a que el campo de colectores o heliostatos se distribuyen en una gran extensión de suelo para así lograr obtener grandes temperaturas y una gran cantidad de energía térmica.

2.7.6 Recursos Hidráulicos

Las plantas termoeléctricas consumen grandes cantidades de agua (2000-3000 m³/GWh) para la generación de vapor y la refrigeración del ciclo. Este gasto se asocia principalmente al propio ciclo termodinámico; refrigeración (82-94%) y purgas (4-8%), a la limpieza (2-10%) y en las plantas termosolares se añade una cantidad menor adicional para la limpieza del campo solar (2-10%).[33]

2.7.7 Accesibilidad

La accesibilidad resulta un factor muy importante para el funcionamiento de la planta, tanto a las redes eléctricas como a caminos, por el principio de localización de mínimo costo [13]. La red vial hace posible que los trabajadores e insumos lleguen al emplazamiento de la central, y la cercanía a la red de alta tensión abarata los costos de conexión. Por ello, la búsqueda de las rutas principales y las redes eléctricas de alta tensión es uno de los desafíos para la localización.

Capítulo 3 La Paz Centro, características y condiciones climáticas

3.1 Actividad económica

La Paz Centro es un municipio ubicado en el departamento de León, Nicaragua. Su actividad económica se centra principalmente en la agricultura, comercio y servicios.

El sector agrícola es uno de los pilares económicos del municipio, con cultivos como maíz, frijoles, sorgo, caña de azúcar y hortalizas. La ganadería también es importante, especialmente en la producción de carne y lácteos.

La Paz Centro cuenta con un mercado activo donde se comercian productos agrícolas y otros bienes de consumo. Este comercio local es vital para la economía local y regional. A si mismo cuenta con un mercado de servicios que incluye actividades como transporte, educación, salud y servicios profesionales. Estos servicios son fundamentales para el bienestar de la población y contribuyen al desarrollo económico del municipio.

El sector industrial de la Paz Centro está muy poco desarrollado y se centra en las actividades relacionadas con el procesamiento de alimentos y la fabricación artesanal.

3.2 Consumo eléctrico del municipio

La Paz Centro es uno de los municipios más extensos del departamento de León y cuenta con una población de 31,732 habitantes de los cuales el 66 % vive en el sector urbano y el restante 34% vive en el sector rural. [34]

El municipio cuenta con servicio de energía domiciliar a cargo de la distribuidora Disnorte el cual distribuye la electricidad a través de 111 km de redes primarias y 13 km de redes secundarias logrando así una cobertura eléctrica global del 70%. [34]

Según datos de banco mundial, nicaragua tiene un consumo eléctrico per cápita de 562 KW/h y con una población con acceso a la red eléctrica de 22,212.4 habitantes en la Paz Centro, esto supondría un consumo eléctrico aproximado de 12.48 GW/h en el periodo de un año.

3.3 Característica Solar en el municipio

El sol es la estrella más cercana a la tierra en nuestro sistema solar, es una estrella clasificada como G-2, la cual alcanza una temperatura aparente de 5800 K y clasificada en base a su luminosidad como V que la describiría como una estrella enana.

El sol como fuente luminosa y de radiación está compuesta por 73.6% de hidrogeno, 28.85 de helio, 0.77% de oxígeno, 0.29% de carbono y el 0.63% pertenece a elementos como hierro, azufre, neón, magnesio y silicio.

La energía del sol, se genera a partir de reacciones termonucleares producidas en el interior de la estrella, donde átomos de hidrogeno se fusionan para dar origen a átomos de helio, realizando así una reacción exotérmica, que libera energía en grandes cantidades alrededor de 3.7×10^{23} kilovatios o expresándolo en forma equivalente, el sol produce 760,000 veces la producción de energía anual a nivel mundial. [5]

3.3.1 Componentes de la radiación solar

La radiación solar total (I_T) se divide en tres componentes cuando incide en la superficie terrestre, siendo la radiación directa, la radiación difusa y la radiación reflejada.

La radiación directa (I_D) es la energía que proviene directamente del sol, este tipo de radiación es importante para los sistemas de concentración solar.

La radiación difusa es parte de la radiación directa que fue absorbida por la atmosfera.

La radiación reflejada es parte de la radiación directa que llega a la superficie luego de ser reflejada por el suelo u otras superficies, por lo general puede ser despreciable. [6]



Figura 13: Componentes de la radiación solar

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-110-Componentes-de-la-radiacion-solar_fig9_45234985

3.3.2 Posición relativa tierra-sol (azimut y elevación)

El azimut no es más que el ángulo que forma cualquier cuerpo celeste con el norte. Este ángulo se mide en sentido de las agujas del reloj y alrededor del horizonte del observador.

Cuando se habla de elevación se refiere a la distancia angular vertical que hay entre un cuerpo celeste y el horizonte del observador.

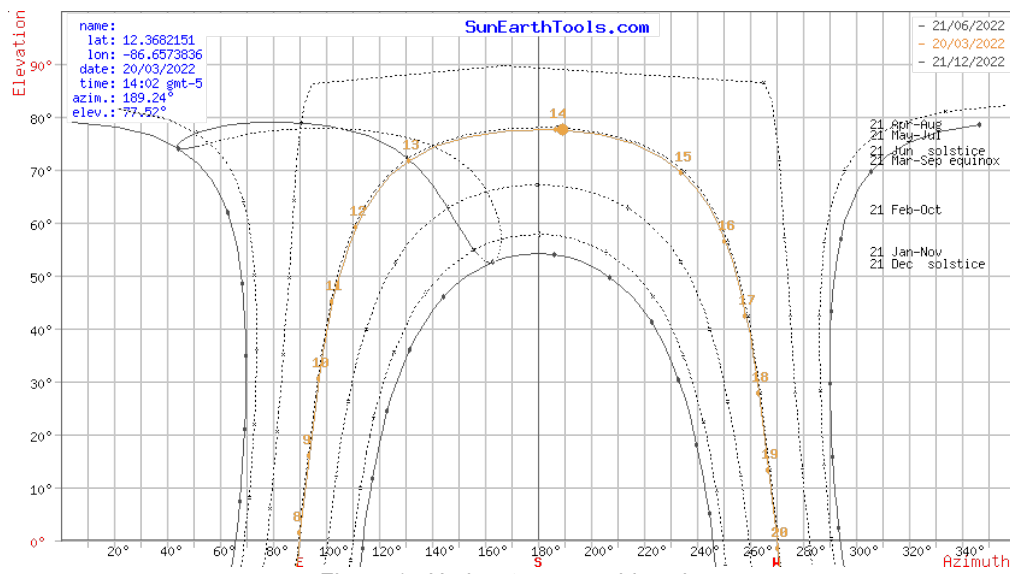


Figura 14: Horizonte y recorrido solar

Fuente: https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es#txtSun_8

En la fig.14 se encuentra mucha información con respecto a la posición del sol en todo el año, en el solsticio de verano el sol presenta su trayectoria más cercana al Polo norte, por el contrario, en el solsticio de invierno presenta la trayectoria más lejana al polo norte, todo esto hablando de su trayectoria azimutal.

En la fig.15 es más fácil de ver los grados de elevación del sol, llegado a su punto máximo de 90° en el cielo el 21 de abril y el 21 de agosto, y su punto más bajo se da en el solsticio de invierno donde llega a elevarse uno 55 grado respecto al horizonte.

A pesar de que Nicaragua no se encuentra en la línea ecuatorial tiene una buena trayectoria solar si se compara con otros países donde se han instalado plantas termosolares (ver anexo), esto resulta ventajoso ya que esto permite que los rayos solares tengas que atravesar menos atmosfera en su camino al suelo terrestre.

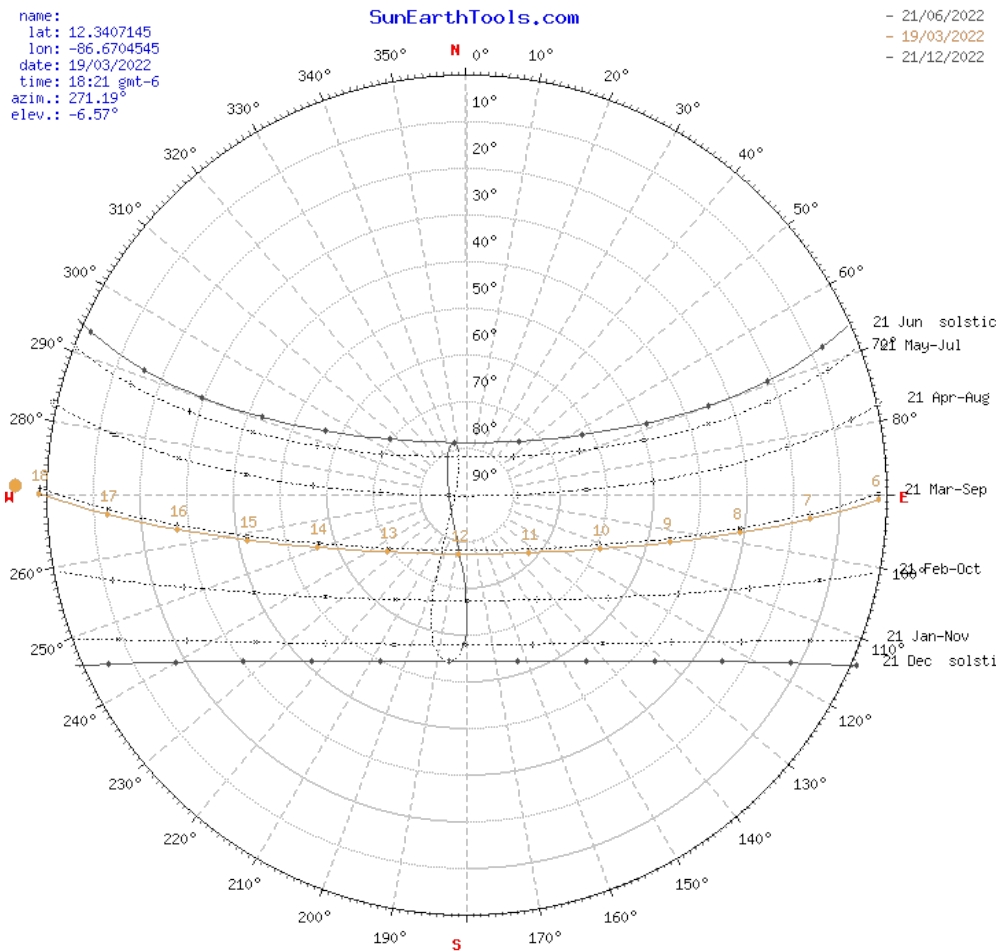


Figura 15: Recorrido azimuthal del sol
FUENTE: https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es

3.3.3 Radiación solar

Este es sin ninguna duda el factor más importante, porque el rendimiento de la planta depende directamente de la radiación solar que sea proyectada hacia el receptor, el cual calienta el fluido de transferencia, sales fundidas o el agua directamente y así generar electricidad.

En todo el territorio nacional la zona del pacifico es el lugar donde hay mayor media de radiación, por lo cual es uno de los lugares más factibles para aplicar energías que utilizan los rayos solares.

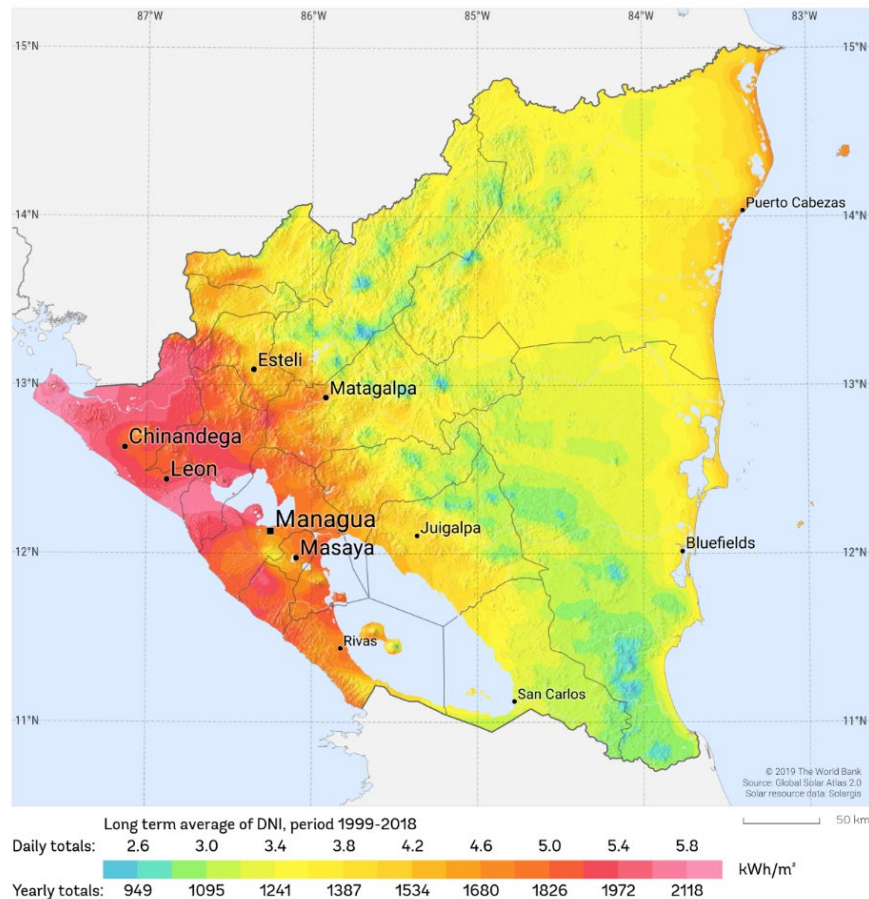


Figura 16: Mapa solar de irradiación directa normal
 FUENTE: <https://globalsolaratlas.info/map?c=12.233997,-86.487122,9&s=12.313169,-86.77002&m=site&pv=hydro,180,10,1000>

En la fig.16 se puede observar 3 lugares en el país que presentan la mayor radiación, estos son, Jinotepe, la paz centro y la zona fronteriza con honduras en Chinandega, estas zonas presentan una radiación media anual de aproximadamente 2,118 kWh/m². Para que una termosolar resulte rentable se recomienda una radiación media anual que ronde los 2,000 kWh/m². [27]

La radiación directa normal en la zona de la paz centro ronda entre los 1949 kWh/m² a 2133 kWh/m² anuales, en la fig.17 se puede observar regiones con distintos colores en el mapa el color más oscuro que está marcado con una flecha indica la zona con mayor radiación con un valor que ronda los 2132.5 kWh/m² por año, esta sería la zona más idónea para ubicar una central termosolar.

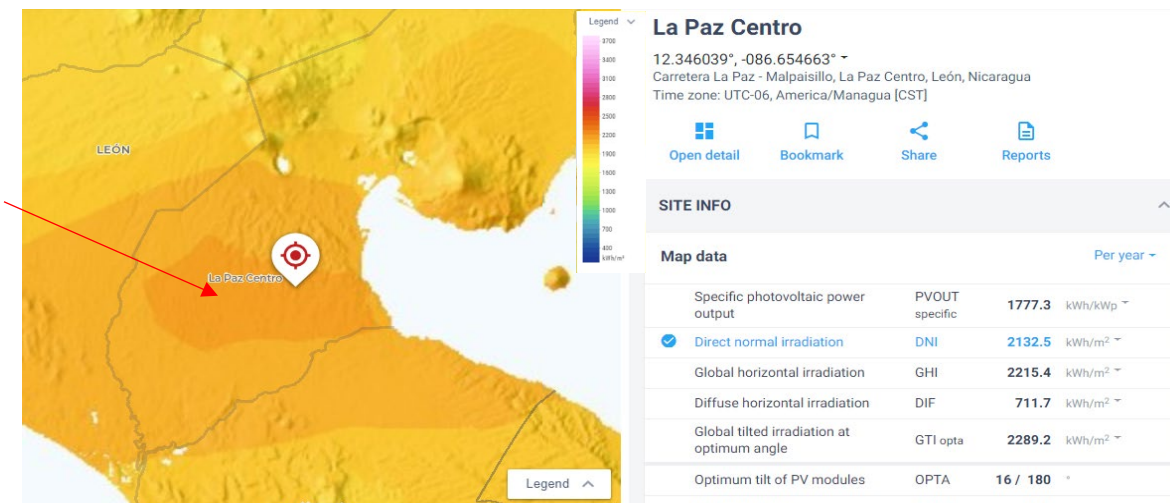


Figura 17: Irradiación directa normal en La Paz Centro
 Fuente: <https://globalsolaratlas.info/map?c=12.348386,-86.693115,11&m=site&a=-86.7556,12.260838,-86.7556,12.348722,-86.550293,12.348722,-86.550293,12.260838,-86.7556,12.260838&s=12.346039,-86.654663>

3.4 Nubosidad y vientos

Es importante que las condiciones climáticas sean las mejores posibles, es decir si la localización se encuentra en una zona con gran cantidad de radiación solar, pero por el contrario a lo largo del año hay muchas precipitaciones o en una zona donde hay abundancia de nubosidad, el rendimiento de la central baja notoria mente. Por otra parta también es importante el viento ya que estos factores pueden conducir o elevar los costes de mantenimiento.

3.4.1 Nubosidad

En La Paz Centro, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía extremadamente en el transcurso del año.

La parte más despejada del año en La Paz Centro comienza aproximadamente el 19 de noviembre; dura 4.9 meses y se termina aproximadamente el 14 de abril.

El mes más despejado del año en La Paz Centro es enero, durante el cual en promedio el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 77 % del tiempo.

La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 14 de abril; dura 7.1 meses y se termina aproximadamente el 19 de noviembre.

El mes más nublado del año en La Paz Centro es junio, durante el cual en promedio el cielo está nublado o mayormente nublado el 87 % del tiempo.

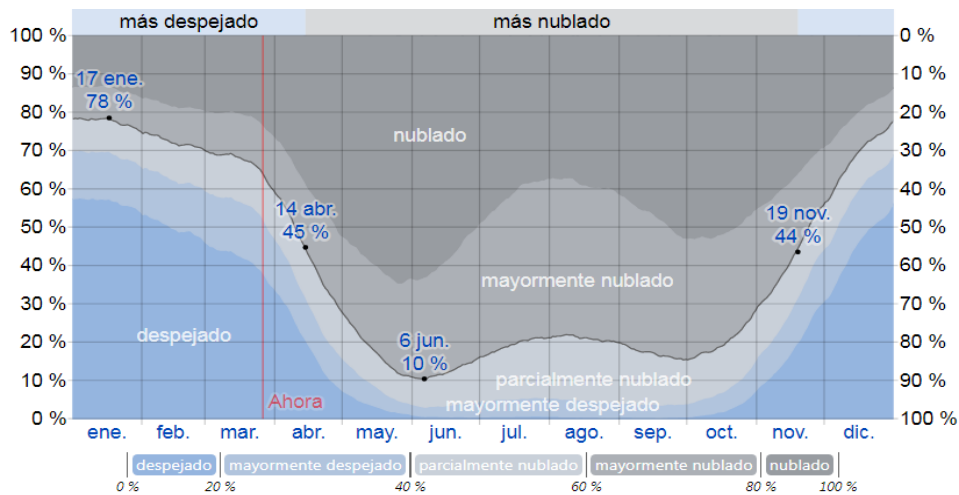


Figura 18: Categorías de nubosidad en La Paz Centro
Fuente: WeatherSpark.com

3.4.2 Vientos

Esta sección trata sobre la velocidad del viento promedio por hora (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores.

La parte más ventosa del año dura 4.3 meses, del 4 de diciembre al 13 de abril, con velocidades promedio del viento de más de 15.5 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en La Paz Centro es febrero, con vientos a una velocidad promedio de 19.6 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 7.7 meses, del 13 de abril al 4 de diciembre. El mes más calmado del año en La Paz Centro es octubre, con vientos a una velocidad promedio de 11.3 kilómetros por hora.

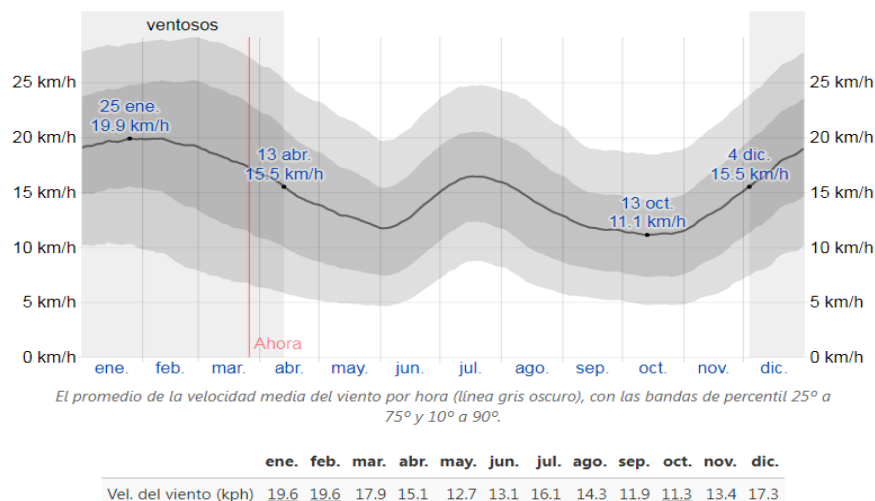


Figura 19: Velocidad promedio del viento en La Paz Centro
Fuente: WeatherSpark.com

3.5 Disponibilidad de suelos y topografía

El municipio de la paz centro tiene una extensión territorial de 691.6 km² y su actividad económica principal es la ganadería y la agrícola, por ello la mayor parte de esta extensión se utiliza para estos fines, la región que ocupa la zona con mayor radiación solar (ver fig.17) abarca un área de 75 km².

Dentro de esta are se encuentra ubicado el centro del municipio que abarca un área aproximada de 10 km² dejando así 65 km² de espacio a campo abierto.

La Paz Centro se ubica en las Provincias Geomorfológicas, Planicie o Llanura del Pacífico, también llamada Planicie Nagrandanos, Cordillera Volcánica del Pacifico atraviesa el territorio municipal en dirección Noroeste hacia el Este, constituyéndose en dos cuencas, la Planicie o Llanura Costera del Pacifico, con elevaciones de 0 msnm a 300 msnm. En el sector Sur de la cordillera se encuentran los mejores suelos para la producción agrícola intensiva, son suelos profundos, bien drenados, de textura arcillosa, de topografía plana de 1% a 5% en la planicie y 5% a 30 % en la cordillera volcánica.



*Figura 20: Mapa del relieve de La Paz Centro
Fuente: Opentopomap*

3.6 Recursos hídricos

En el municipio se encuentra un sistema hidrológico de aguas superficiales y subterráneas. El manto freático del municipio está entre 3 a 10 metros de profundidad, en la parte Sur; y en la parte Norte a unos 25 metros. Las aguas superficiales se concentran en la parte Sur del municipio, siendo a la vez las de uso potencial para fines agropecuarios u otros usos humanos.

De acuerdo con el Mapa de Cuencas Hidrográficas (INETER), el municipio de La Paz Centro comparte cuatro grandes cuencas hidrográficas: 1) Cuenca Estero Real, 2) Cuenca No. 64 entre el Volcán Cosigüina y el Río Tamarindo, 3) Cuenca No. 66 Río Tamarindo y 4) Cuenca No. 69 Río San Juan.

En resumen, el Municipio tiene una amplia red de ríos permanentes (170 Km), ríos temporales (85 km) y cauces (75 km). Además, en el área se encuentran las lagunas Asososca, El Cachital, La Sulfatosa, La Piedra, Monte Galán y el Lago Xolotlán que sirve de límite municipal.

Capítulo 4 Planta termosolar a desarrollar

4.1 Tecnología a utilizar

En el capítulo 2 se expusieron todas las tecnologías existentes para la utilización de energía termosolar, estas son: Torre con receptor central, cilindro parabólico, línea Fresnel y disco parabólico.

También se expusieron sus ventajas y desventajas, dentro de estas tecnologías, las que resultan mejores para implementar en el país son la cilindro parabólico o receptor lineal Fresnel, esto debido a que estas tecnologías son las más baratas y con relativa experiencia en el mercado.

Así, mientras que una central Cilindro Parabólico cuesta alrededor de 4,5 millones de € por MW eléctrico instalado, una planta basada en espejos en disposición Fresnel cuesta alrededor de 3,1 millones, es decir, casi una tercera parte menos. Desde un punto de vista económico y de cara al futuro la tecnología con receptor lineal Fresnel resulta atractiva para implementar en el país, debido que esta es una de las tecnologías termosolares más baratas y menos complejas. [7]

A continuación, ahondaremos más en las características de la tecnología Fresnel.

4.2 Tecnología Fresnel

La tecnología Fresnel es similar a la cilindro-parabólica, los reflectores planos o ligeramente curvados simulan un espejo curvo, por variación del ángulo ajustable de cada fila individual de espejos. Esto supone una solución de menor coste, pero la capacidad de concentración es también menor de aproximadamente 20:1 a 40:1, por lo que las temperaturas alcanzadas son también menores. Sin embargo, el vapor obtenido es de similares características al obtenido en las plantas de receptor de torre trabajando con vapor, por lo que en ese sentido son muy similares.

Los sistemas Fresnel se pueden configurar para operar en una amplia gama de temperaturas, de 200 a 500 °C, aunque se están desarrollando sistemas con temperaturas de hasta 550 °C. Las aplicaciones van desde el calor de procesos industriales, la generación de energía distribuida mediante el ciclo orgánico de Rankin hasta los sistemas de turbinas de vapor.

La tecnología Fresnel se presenta como una alternativa viable frente a las instalaciones de colectores cilindro parabólico debido al empleo de espejos planos, tubos de menor exigencia tecnológica y uso de vapor como fluido de trabajo. Se adapta perfectamente a la hibridación con plantas de generación mediante combustibles fósiles, así como el aporte de vapor a procesos industriales.

Todas estas diferencias en comparación con las plantas cilindro parabólico mejoran el coste €/kW instalado.

4.3 Principio de la tecnología Fresnel

La tecnología del reflector lineal Fresnel recibe su nombre del lente Fresnel, que fue desarrollada por el físico francés Augustin-Jean Fresnel para los faros en el siglo XVIII. El principio de esta lente es la ruptura de la superficie continua de una lente estándar en un conjunto de superficies con discontinuidades entre ellas. Esto permite una reducción sustancial del grosor (y por tanto del peso y volumen) de la lente, a expensas de reducir la calidad de la imagen de la lente.

El principio de dividir un elemento óptico en segmentos que tienen el mismo (o muy similar) efecto óptico que el elemento óptico original también se puede aplicar a los espejos. Es posible dividir un espejo parabólico en segmentos anulares, formando un espejo Fresnel circular que enfoca la luz que llega en rayos paralelos al eje óptico sobre el punto focal del espejo paraboloide.

De forma análoga, se puede construir un espejo lineal Fresnel sustituyendo un cilindro parabólico por segmentos lineales que enfocan la radiación que llega en un plano paralelo al plano de simetría del cilindro parabólico sobre la línea focal del cilindro parabólico. Una Línea Fresnel tiene un efecto similar a un cilindro parabólico, cuando se considera la concentración de la radiación en una línea focal, es decir, una Línea Fresnel se comporta como un cilindro parabólico.

4.4 Partes de una central termosolar Fresnel

4.4.1 Sistema de concentración

El sistema de concentración de un sistema lineal fresnel consta de 3 partes:

- Reflector primario
- Reflector secundario
- Tubo absorbedor.

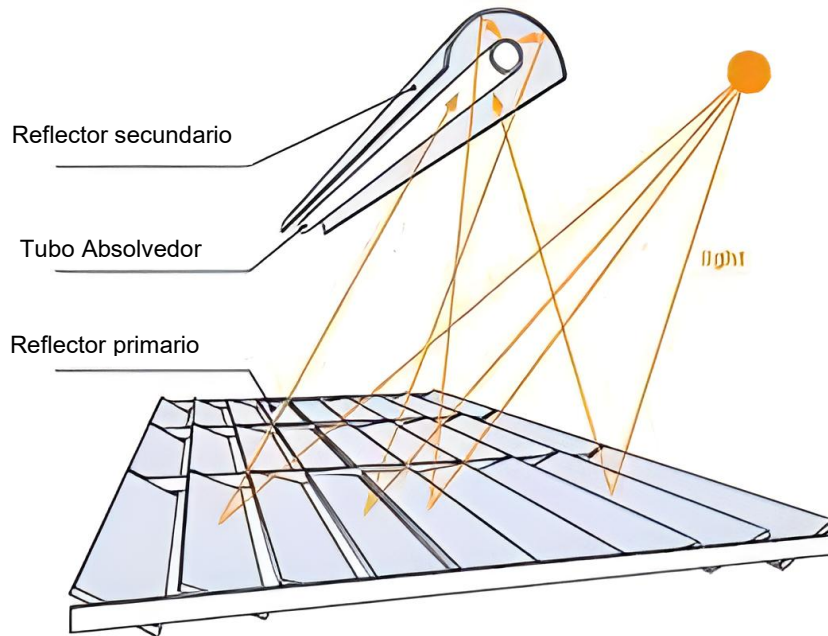


Figura 21:Partes de un colector lineal Fresnel
Fuente: <https://www.ressspi.com/calorsolar/tecnologia>

4.4.2 Reflector primario

Los espejos pueden ser planos o curvados elásticamente y, por lo general, están contruidos de vidrio con un respaldo de material compuesto/metal, aunque otros materiales se están abriendo camino en el sector. Agregar curvatura al espejo aumenta la relación de concentración y simplifica el diseño del receptor. El ancho y largo del espejo dependerán del diseño. Los espejos se montan en el sistema de seguimiento de varias maneras diferentes. Un montaje típico sería un bucle circular impulsado por un motor de seguimiento.

4.4.3 Reflector secundario

Se trata de un espejo que envuelve al tubo absorbente y trata de aprovechar los rayos más oblicuos para así mejorar el rendimiento del sistema.

Los reflectores secundarios se utilizan en diseños con tubos absorbentes individuales utilizando espejos secundarios para reflejar los rayos que no logran alcanzar al tubo receptor. Los materiales de reflector que se utilizan son chapas finas de aluminio o reflectores de vidrio espejado.

Esto permite ampliar el área objetivo del receptor, lo que reduce los requisitos de precisión óptica de los reflectores primarios

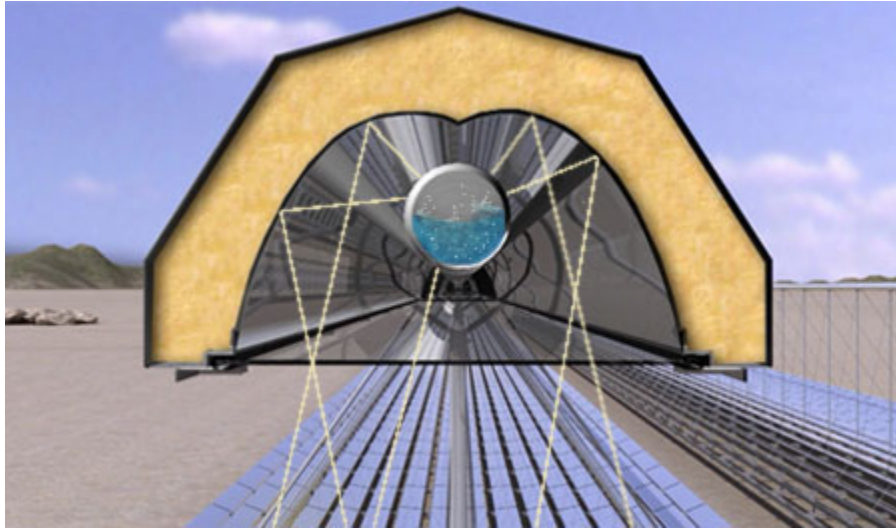


Figura 22: Esquema simplificado del reflector secundario en la planta pe1
Fuente: <http://energeticafutura.com/blog/la-primera-planta-solar-del-mundo-con-tecnologia-linear-fresnel-estara-en-murcia/>

Debido a que no existe ninguna teoría que determine el funcionamiento óptimo para los reflectores secundarios, existen en el mercado diferentes tipos de diseño: a) con forma parabólica, un solo tubo absorbedor y con una cubierta de vidrio en la parte inferior del colector para minimizar las pérdidas de calor por convección. b) con forma de parábola, con un único tubo absorbedor con cubierta de vidrio al vacío. c) sin reflector secundario, con múltiples tubos absorbedores y con cubierta de vidrio en la parte inferior.

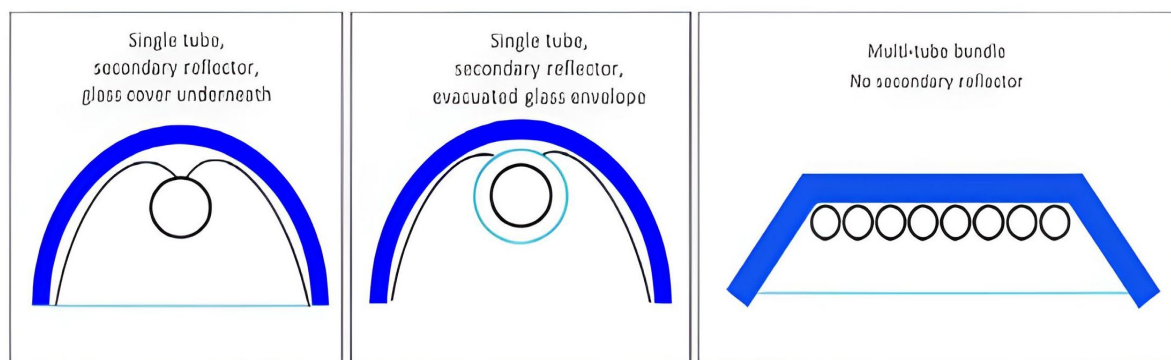


Figura 23: Tipos de diseño de estructura del receptor
Fuente: [19]

4.4.4 Tubo Absorbedor o Receptor

A diferencia de la tecnología cilindro parabólica, el tubo absorbedor de las líneas Fresnel permanece inmóvil y fijado a una cierta altura de los Reflectores primarios. Una de sus principales características es que según el diseño se pueden alcanzar temperaturas de 200°C a 500°C, Para el primer caso donde las temperaturas alcanzan los 200°C se utilizan tubos absorbedores sin cámaras de vacío y sin cristal de protección, en el caso donde las temperaturas de trabajo rondan los 500°C los tubos absorbedores requieren cámara de vacío como los que se muestran en la Figura 24, esto con el objetivo de minimizar las pérdidas térmicas en el tubo.



Figura 24: Tubo absorbedor

FUENTE: <https://www.energias-renovables.com/termosolar/abengoa-compra-a-siemens-su-fabrica-israeli-20130919>

4.4.5 Ciclo de vapor

El ciclo de vapor es el componente vital para la generación de electricidad. Esto es debido a que es aquí donde la energía térmica proveniente del receptor que es transformada en energía eléctrica para ser introducida a la red posteriormente.

Este ciclo de potencia o vapor que tienen acoplado los centrales termo-solares es un ciclo Rankine. Para poder describir correctamente el ciclo de potencia de las plantas termosolares, hay que tener en cuenta cual es el fluido de trabajo que se utiliza, puesto que cada uno tiene un funcionamiento diferente dependiendo de si emplean agua o sales fundidas. El funcionamiento de ambos sistemas es prácticamente el mismo, pues son ciclos termodinámicos Rankine. La diferencia radica en que, si se trabaja con agua, el vapor saturado es generado en el receptor al ser calentada el agua directamente. Este vapor es enviado a la turbina, donde se genera energía cinética a medida que va perdiendo la presión y enviado al condensador donde vuelve a su estado líquido, para que pueda ser introducido de nuevo en el generador de vapor.

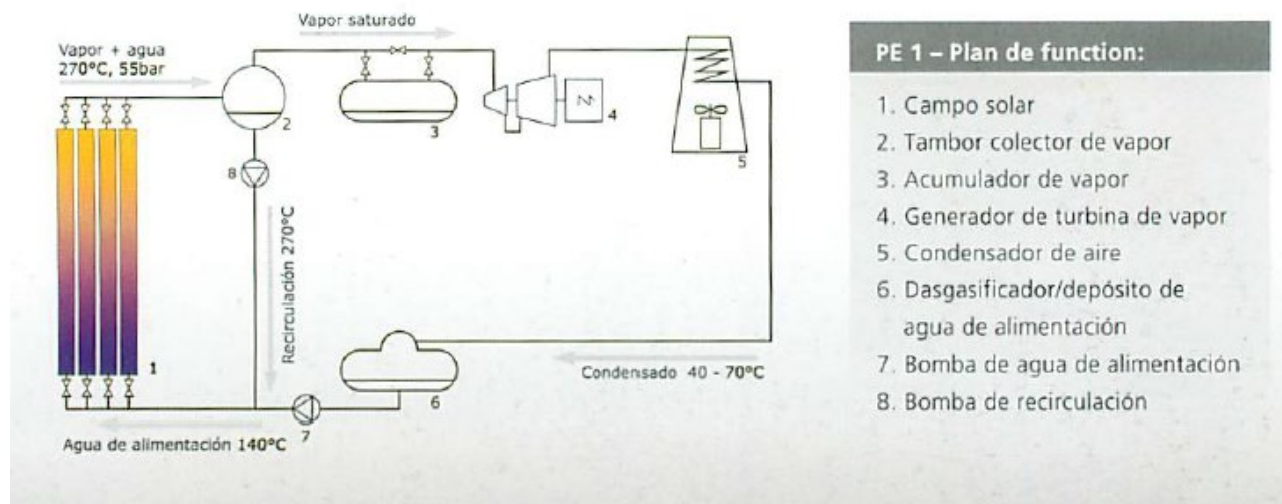


Figura 25: Esquema de funcionamiento de una planta termosolar Fresnel
Fuente: [21]

En caso de usar sales fundidas, son estas las que son calentadas en el receptor por lo que para poder generar vapor de agua será necesario tener instalado un intercambiador de calor, donde las sales pierden el calor y es transferido al agua, que es el fluido utilizado en el ciclo termodinámico generando de esa manera vapor saturado y funcionando ya como un ciclo de Rankine convencional.

4.4.6 Turbina de vapor

La turbina de vapor es una turbo-máquina, a través de la cual se puede transformar la energía térmica del vapor generado en energía cinética, al mover esta la turbina según va bajando la presión y su temperatura. Esta energía cinética es aprovechada posteriormente por un generador eléctrico para producir electricidad.



Figura 26: Turbina de vapor de una central termosolar
Fuente: <https://turboefficiency.com/es/servicios/performance-de-turbinas-de-vapor/>

4.4.7 Condensador

Está situado al final de la turbina, aquí es donde el vapor de agua es condensado de manera que vuelva a su estado líquido inicial (agua) para que pueda ser recalentado en el campo solar, completando de esa manera el ciclo.

Es importante mencionar que en el condensador también son eliminados todos aquellos gases no condensables o nocivos mediante métodos químicos o físicos.

4.5 Dimensionado del campo solar (Colectores)

En este punto se calcularán los datos necesarios para el dimensionamiento del campo solar, como la potencia térmica necesaria, el área de la superficie ocupados por los colectores, el número de filas y el flujo másico, para ellos es necesario establecer las condiciones nominales de trabajo en el lugar escogido.

Como dato para los cálculos se tomará la radiación solar promedio que es de 487.42 W/m^2 .

Direct normal irradiation [Wh/m ²]												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6				14	27	27	13	10	10	11	11	
6 - 7	162	181	267	269	191	196	187	203	207	220	272	212
7 - 8	509	537	545	461	322	318	329	370	363	361	479	519
8 - 9	653	677	679	592	429	411	430	471	465	448	585	644
9 - 10	744	770	778	686	513	492	504	545	539	512	662	721
10 - 11	793	830	832	744	577	529	546	597	577	550	696	762
11 - 12	820	860	852	763	590	527	554	618	569	553	684	766
12 - 13	815	856	856	740	600	552	563	596	537	523	644	739
13 - 14	773	820	825	704	538	508	487	521	479	472	594	682
14 - 15	700	760	763	640	461	404	399	427	385	385	510	611
15 - 16	600	663	665	527	367	292	300	314	291	281	397	496
16 - 17	441	519	519	379	250	194	202	202	171	155	235	322
17 - 18	113	180	191	132	90	91	95	86	43	12	10	20
18 - 19						3	3					
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	7124	7654	7772	6652	4954	4545	4609	4960	4636	4484	5778	6493

Figura 27: Registro de radiación directa normal promedio

Fuente: <https://globalsolaratlas.info/map?c=12.348386,-86.693115,11&m=site&a=-86.7556,12.260838,-86.7556,12.348722,-86.550293,12.348722,-86.550293,12.260838,-86.7556,12.260838&s=12.346039,-86.654663>

4.5.1 Pérdidas en los colectores solares

La eficiencia de un colector termosolar se puede definir como la relación entre el calor solar que llega al emplazamiento y el calor útil que los colectores consiguen extraer. Esta diferencia entre uno y otro se debe a pérdidas ópticas y térmicas.

En La fig.28 se puede apreciar que hay 3 tipos de pérdidas:

$Q_{opt}(\varphi=0)$: Las pérdidas ópticas se dan debido a que la superficie de los colectores no es un reflector perfecto, y el vidrio del absorbedor no es totalmente transparente, la superficie del tubo no es un absorbente perfecto, esto quiere decir que solo una parte de la radiación solar directa que incide en la superficie refléctate llega al absorbedor.

$Q_{opt}(\varphi>0)$: Al igual que la anterior esta pérdida es óptica, pero a diferencia de la anterior esta no se debe a cuestiones de reflectividad y transparencia de los materiales si no debido a la geometría, una de las causas de esta pérdida es el ángulo de incidencia que se origina debido a que el sistema de seguimiento solo es de un eje y por ello entre los rayos directos del sol y los rayos reflejados se forma un ángulo el cual reduce el área efectiva de captación y la segunda causa es debido al apantallamiento entre los espejos de un mismo colector, esto es cuando los espejos vecinos obstaculizan el área reflectante de otros espejos, esto normalmente ocurre en las horas de la mañana y en la tarde.

Q_L : Este tipo de pérdidas se denominan térmicas, y se producen en el tubo absorbedor y en las tuberías de fluido térmico, siendo mucho más importante las perdidas en el tubo absorbedor.

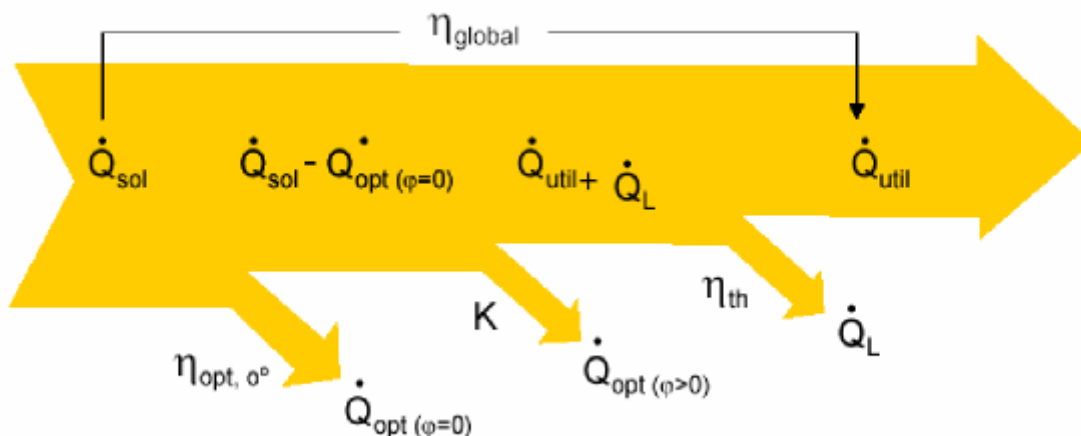


Figura 28: Diagrama de pérdidas en los colectores
Fuente: <http://energyprofessionalsymposium.com/?p=36577>

4.5.2 Cálculo de Colectores solares

Potencia térmica necesaria

Para poder hacer este cálculo primeramente hay que definir la potencia de la central, debido a que la mayor planta de este tipo es de una potencia de 125 MW, me parece conveniente realizar un cálculo para una generación de 30 MW.

$$Q = \frac{P}{\eta_{bp}}$$

Donde:

Q: La potencia térmica necesaria de entrada al bloque de potencia para generar la producción bruta de energía eléctrica en la turbina.

P: La producción eléctrica bruta de la turbina.

η_{bp} : Eficiencia del ciclo de potencia. En este caso se tomará el valor de 40%, valor obtenido de la Planta PE2 de Novatec

$$Q = \frac{P}{\eta_{bp}} = \frac{30 \text{ MW}}{0.4} = 75 \text{ MW}_{Th}$$

Este dato nos quiere decir que para poder generar una potencia eléctrica de 30 MW eléctricos se requiere obtener 75 MW térmicos.

Área del campo solar

Para poder calcular el área del campo solar primero hay que seleccionar que colector se va a utilizar, de la tabla en los anexos "**Fabricante de receptores lineales Fresnel y sus especificaciones**" se obtiene la siguiente tabla, seleccionando solo los colectores para uso en grandes centrales de generación.

FABRICANTE	MATERIAL REFLECTANTE	ÁREA DE APERTURA NETA, POR MÓDULO (m ²)	Longitud de apertura de un módulo (m)	Anchura neta de apertura de un módulo (m)	Configuración del receptor	Dímetro externo de tubo receptor (mm)	Factor de concentración	Longitud focal (m)	Eficiencia óptica	Tem de operación (°C)
AIRA termosolar	N.D	1233	N.D	18	Monotubo	N.D	N.D	N.D	72.70%	50-300
CNIM	1 os. AL o Ag 2 os N.D	720	36	20	Monotubo	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Feranova	Al	3125	125	25	Monotubo	N.D	127.32	10	N.D	200 (agua) 500 (sales fundidas)
Hitachi zosen	ND	662	92	7.2	Monotubo	90	50.93	2.6	74.00%	100-340
NOVATEC SOLAR	1 os Ag 2 os N.D	513.6	42.8	12	Monotubo	<153	>50	7.4	67.00%	550

Tabla 1: Fabricantes y características de colectores Fresnel
Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestran 5 fabricante de colectores solares Fresnel de los cuales solo 3 de ellos proporcionan la eficiencia óptica, de estos el que resulta más interesante es el del fabricante Hitachi zosen con una eficiencia de 74% siendo el más eficiente de los 3 por lo cual este se usara para hacer el cálculo del área del campo solar, sin embargo, algo que no se obtiene de esta tabla es la eficiencia térmica, debido a la falta de esta información se utilizara el valor proporcionado por la plante PE2 el cual se obtiene de la siguiente manera:

La eficiencia óptica del colector solar de la planta PE2 es de 67% y según la tabla de información de la planta nos indica que para una radiación de 900 W/m^2 el colector logra extraer 502.3 W/m^2 .

A si primero calculamos la potencia que queda después de las perdidas ópticas del colector, la cual se describe con la siguiente formula:

$$Q_{util} + Q_L = Q_{sol} * \eta_{opt}$$

Donde:

Q_{sol} : Radiación solar directa

η_{opt} : Eficiencia óptica del colector

Q_L : perdidas térmicas

Q_{util} : Potencia útil

η_{th} : Eficiencia térmica

$$Q_{util} + Q_L = 900 \text{ W/m}^2 * 0.67 = 603 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{util} + Q_L = 603 \text{ W/m}^2$$

Ahora procedemos a calcular la eficiencia térmica del colector

$$\eta_{th} = \frac{Q_{util} * 100}{Q_{util} + Q_L}$$

$$\eta_{th} = \frac{502.3 \text{ W/m}^2 * 100}{603 \text{ W/m}^2}$$

$$\eta_{th} = 83.3\%$$

Siendo así la eficiencia térmica de colector de la central termosolar PE2 de 83.3%, el cual tomaremos como dato para el colector que seleccionamos.

Ahora procedemos a calcular la eficiencia global del colector seleccionado del fabricante Hitachi zosen:

$$\eta_{global} = \eta_{opt} * \eta_{th}$$

Donde:

η_{opt} : Eficiencia óptica del colector (74%)

η_{th} : Eficiencia térmica (83.3 %)

$$\eta_{global} = 0.74 * 0.83$$

$$\eta_{global} = 61.42 \%$$

Con el cálculo anterior sabemos ahora que nuestro colector tendrá una eficiencia global del 61.42%.

Ahora sí, podemos calcular el área total de colectores necesarios para generar una potencia térmica de 75 MW, lo cual se hace con la siguiente formula.

$$A = \frac{Q}{Q_{util}}$$

Donde:

A: Área exacta del campo solar requerida para que al bloque de potencia le llegue a potencia nominal requerida en las condiciones atmosféricas óptimas.

Q: La potencia térmica necesaria en la entrada al bloque de potencia para generar la producción bruta de energía eléctrica en la turbina

Q_{util} : Potencia útil que proporciona un colector evaluado a una radiación incidente de 487.42 W/m²

$$A = \frac{75 \text{ MW}}{487.42 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 0.6142}$$

$$A = 250,523.28 \text{ m}^2$$

Número de colectores

Con el área que ya se calculó ahora podemos calcular el número de colectores exactos necesarios que deberá tener nuestra central. Para ello se divide el área total entre el área que tiene cada colector.

$$N_c = \frac{A}{A_0}$$

Donde:

A: es el área total de colectores necesarias, calculada anterior mente

A₀: Área de apertura de cada colector (datos del fabricante).

$$N_c = \frac{250,523.28 \text{ m}^2}{662 \text{ m}^2}$$

$$N_c = 378.43 \text{ Colectores}$$

Se necesitarían 378.43 colectores en el campo solar para obtener la potencia nominal deseada.

4.5.3 Cálculo de Filas de Colectores en serie, Filas Paralelas y Flujo másico del campo.

El diseño del campo solar va más allá de la determinación del área de colectores y la distribución de esta área total en un espacio determinado, si no que se debe determinar la configuración hidráulica del campo, para cada demanda y configuración existente, un régimen de trabajo, un salto térmico requerido y un caudal.

Conexión en serie:

En este tipo de conexión, el caudal de salida de un colector es el de entrada del siguiente, lo que favorece el incremento de temperatura por unidad de masa de fluido. El caudal es el mismo para todo el circuito en serie. La pérdida de carga resultante es la suma de las pérdidas de carga de los colectores conectados en serie.

Conexión en paralelo:

Esta conexión consiste en conectar todas las entradas de los colectores a un mismo punto y todas las salidas a otro, de forma que el caudal del punto de conexión se divide en el número de colectores conectados en paralelo.

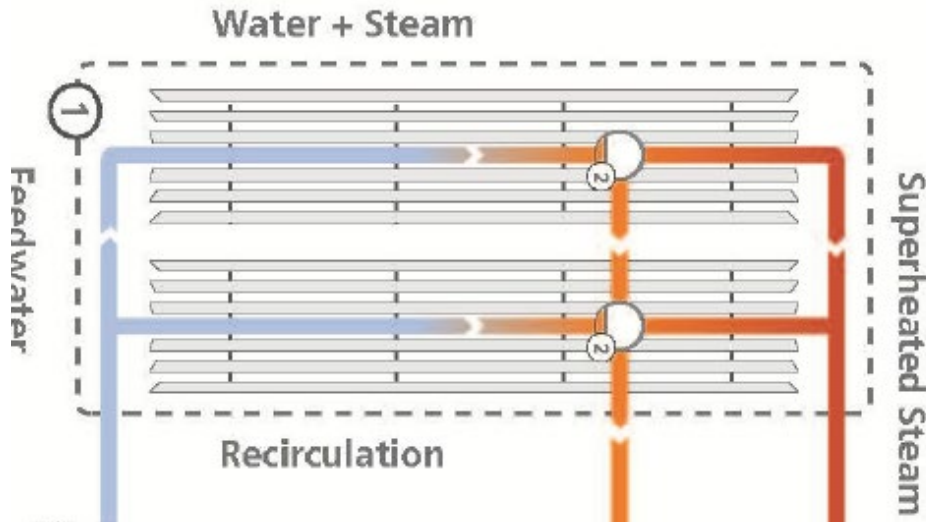


Figura 29: Configuración de colectores en serie y líneas en paralelo
FUENTE: [20]

4.5.3.1 Salto térmico del campo

El primer paso para determinar el interconexionado es la determinación del salto térmico para el cual se diseña el campo de colectores.

Se puede afirmar que el salto térmico del campo solar ΔT_{campo} , estará relacionado íntimamente con el salto térmico del circuito de proceso $\Delta T_{proceso}$ o del punto de conexión.

En este caso se tomarán los mismos valores que la planta termosolar Puerto errado 1 con un salto térmico de 130 °C. [21]

4.5.3.2 Flujo Másico

La determinación de flujo másico es el paso más importante para determinar la configuración del interconexionado de los colectores. El Flujo y el salto térmico están ligados física mente, esto quiere decir que mientras más elevado sea el salto térmico más bajo será el caudal para un determinado número de colectores. [8]

Si se supone un campo de colectores como una “caja negra” fig.30, sobre la que incide una determinada cantidad de energía y a través de ella circula un determinado caudal, generando así un salto térmico, el cual es descrito por la siguiente ecuación:

$$Q_{campo} = G * \eta = m_{campo} * C_p * \Delta T_{campo}$$

$$m_{campo} = \frac{G * \eta}{C_p * \Delta T_{campo}}$$

Donde:

Q_{campo} : Potencia térmica generada por el campo

G : Es la potencia solar que incide en el campo

m_{campo} : Es el flujo másico que circula en el campo

C_p : es el calor específico del fluido térmico evaluada a la temperatura media del campo $\left[\frac{T_{salida} + T_{entrada}}{2} \right]$

ΔT_{campo} : es el incremento de temperatura deseado

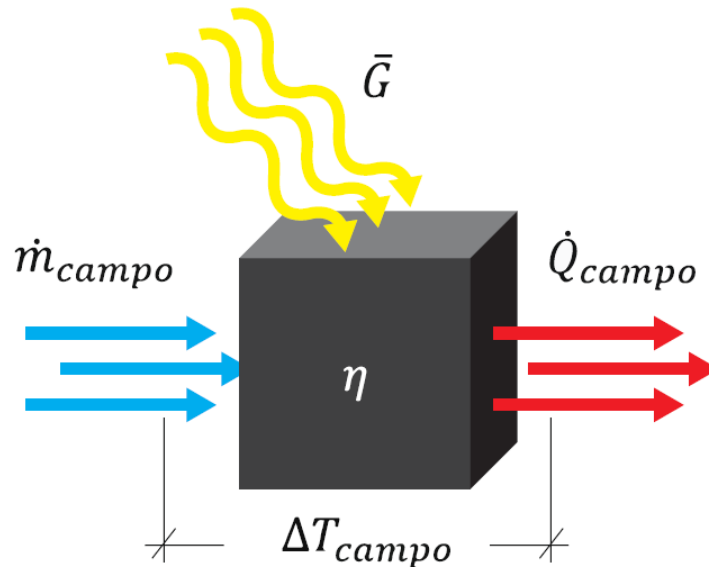


Figura 30: Diagrama de funcionamiento físico de un colector termosolar
Fuente: [8]

4.5.3.4 Calor específico del fluido de trabajo

El calor específico se define como la cantidad de energía térmica necesaria para para cambiar la temperatura de una sustancia, en el caso del agua es solo ligeramente influenciada por la presión por lo que puede ser calculada a través de la siguiente ecuación: [28]

$$C_p = 4219.59 - 187.25 * \frac{T}{100} + 172.17 * \left(\frac{T}{100}\right)^2$$

Donde:

T: es la temperatura en °C

Realizando el cálculo para una temperatura de 205 °C obtenemos el resultado:

$$C_p = 4.559 \frac{Kj}{kg * k}$$

4.5.3.4 Cálculo

Para lograr hacer el dimensionado se hará un análisis iterativo, tomando como campo solar únicamente una línea de colectores en serie de un numero variable de colectores, el cual se ajuste para su conexión en paralelo con líneas de colectores similares.

Como constantes tenemos los siguientes datos:

DATOS		
Área de apertura del colector	662	m2
Radiación solar	487.42	W/m2
Eficiencia global del colector	61.42	%
C_p	4.559	kJ/kg*k
ΔT_{campo}	130	°c

Tabla 2: Datos constantes necesarios para calcular el flujo
Fuente: Elaboración propia

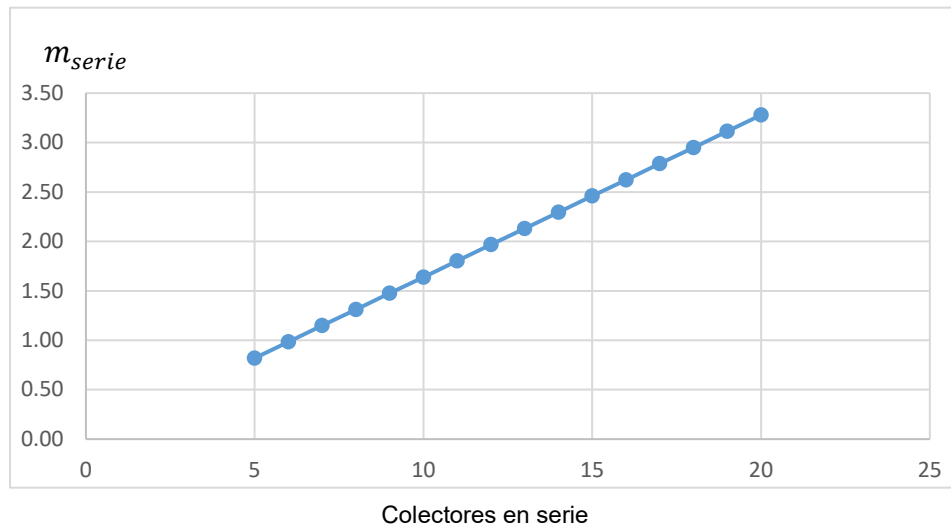


Figura 31: Relación entre cantidad de colectores en serie y el flujo
Fuente: Elaboración propia

Dimensiones del campo solar

No de colectores en serie	Pbruta (W)	Q_{Campo} (MWth)	Flujo (m_{serie}) (kg/s)	Líneas de colectores en paralelo	Flujo (m_{Campo}) (kg/s)
5	1613372.15	0.99	0.46	75.686	35.15
6	1936046.58	1.19	0.56	63.072	
7	2258721.01	1.39	0.65	54.062	
8	2581395.44	1.59	0.74	47.304	
9	2904069.88	1.78	0.84	42.048	
10	3226744.31	1.98	0.93	37.843	
11	3549418.74	2.18	1.02	34.403	
12	3872093.17	2.38	1.11	31.536	
13	4194767.6	2.58	1.21	29.110	
14	4517442.03	2.77	1.30	27.031	
15	4840116.46	2.97	1.39	25.229	
16	5162790.89	3.17	1.49	23.652	
17	5485465.32	3.37	1.58	22.261	
18	5808139.75	3.57	1.67	21.024	
19	6130814.18	3.77	1.76	19.917	
20	6453488.61	3.96	1.86	18.922	

Tabla 3: Determinación del flujo másico, colectores en serie y en paralelo
Fuente: Elaboración propia

DATOS			
Longitud de un colector		92	mt
Anchura		7.2	mt
No de colectores en serie	Colectores en paralelo	longitud	ancho
5	75.686	460	544.94
6	63.072	552	454.12
7	54.062	644	389.24
8	47.304	736	340.59
9	42.048	828	302.74
10	37.843	920	272.47
11	34.403	1012	247.70
12	31.536	1104	227.06
13	29.110	1196	209.59
14	27.031	1288	194.62
15	25.229	1380	181.65
16	23.652	1472	170.29
17	22.261	1564	160.28
18	21.024	1656	151.37
19	19.917	1748	143.41
20	18.922	1840	136.24

Tabla 4: Dimensiones del campo solar
Fuente: Elaboración propia

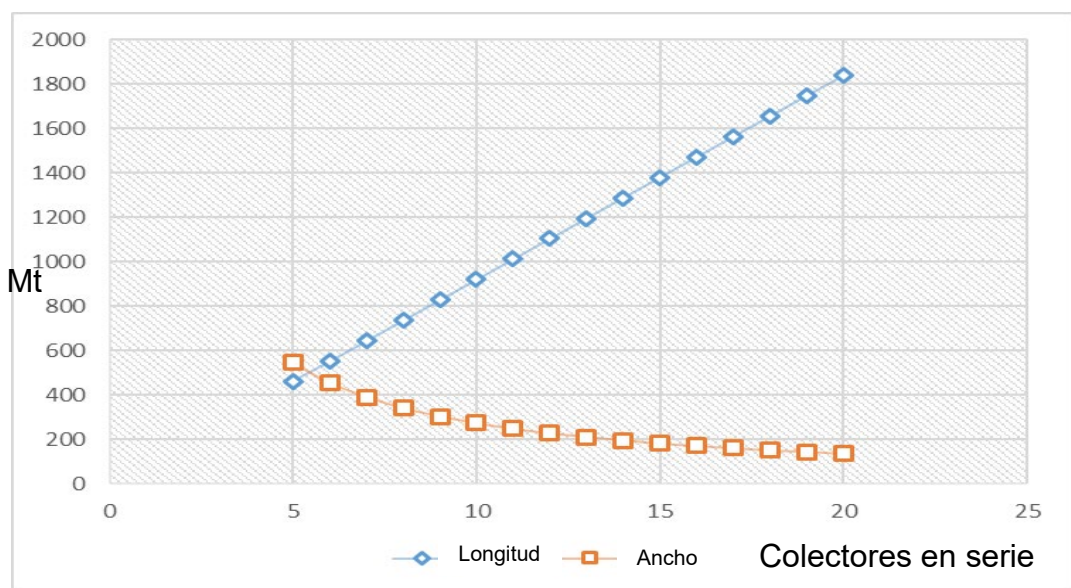


Figura 32: Dimensiones del campo solar a diferentes cantidades de colectores en serie
Fuente: Elaboración propia

Con el cálculo anterior se puede determinar diferentes flujos para diferentes cantidades de colectores en serie, de acuerdo con la fig.31 se puede observar que a medida que el número de filas se incrementa el flujo igualmente y el flujo total del campo solar se mantiene en un valor constante ver tabla 3, también se procedió a calcular las dimensiones del campo solar con diferentes cantidades de colectores en serie ver tabla 4, debido a que no existe ningún parámetro para determinar el punto óptimo para la configuración del campo solar, se tomara como referencia las longitudes de la planta PE 1 (1.4MW), PE 2 (30MW) y Dhursar(125MW), los cuales cada línea de colector tiene una medida desde 500 metros hasta 1000 metros y el fabricante recomienda una longitud de 800 metro por línea, **por lo cual se selecciona la cantidad de 10 colectores en serie con $37.84 \cong 38$ líneas en paralelo.** [22][23]

4.6 Bloque de potencia

Una vez calentado, el fluido se bombea hasta el bloque de potencia localizado en el centro de la planta. El vapor producido circula hacia una turbina de alta presión y otra de baja presión, ambas conectadas al generador de electricidad. Las turbinas de vapor despresurizan el vapor de alta energía convirtiendo así energía térmica en energía mecánica que impulsa el generador. Entonces, mediante la inducción de fuerzas electromagnéticas en un conductor, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica.

El vapor ya exhausto abandona las turbinas y pasa a través del condensador para volver al estado líquido y comenzar de nuevo el ciclo.

Un bloque de potencia de una central termosolar está compuesto por los siguientes componentes:

- Turbina de vapor
- Generador eléctrico
- Sistema de bombeo
- Acumuladores de vapor
- Intercambiadores de calor (solo con aceite y sales fundidas)
- Condensadores

En este apartado solo nos concentraremos en seleccionar la turbina y el generador eléctrico y determinar la configuración de la central. Para ello seleccionamos a la marca SIEMENS debido a que las turbinas y generadores de esta marca han sido ampliamente utilizados en la mayoría de los proyectos termosolares.

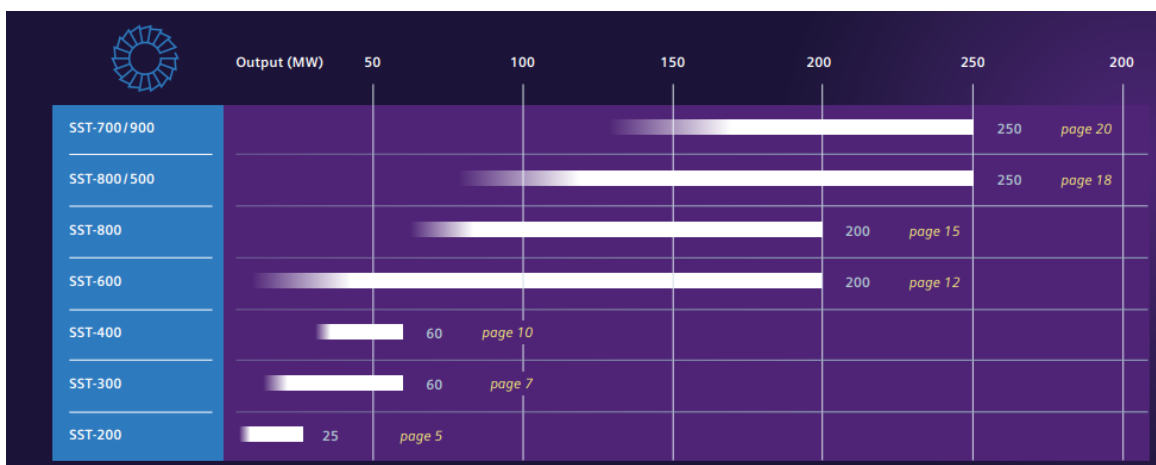


Figura 33: Turbinas industriales desde 2 MW hasta 250 MW marca SIEMENS

FUENTE: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/steam-turbines/industrial-steam-turbines.html>

En la fig.33 se observan diferentes modelos de turbinas-generadores de las cuales solo los siguientes modelos son útiles para plantas termosolares:

- SST-800
- SST-700/900
- SST-300

Donde la SST-800 Y SST-700/900 solo están disponibles en para grandes potencias desde 75 MW hasta 250 MW y la que se ajusta más a la potencia que requiere la central es el modelo SST-300 con una potencia desde 15 a 60 MW, con este modelo se puede tener un bloque de potencia con 2 turbinas de 15 MW cada una.

De toda la información recopilada en este capitulo se puede hacer la siguiente tabla como un resumen de los datos de la planta termosolar diseñada.

Potencia de generación	2 X 15 MW
Colector (Fabricante)	Hitachi zosen
Eficiencia Global del colector	61.42%
Ancho del campo solar	273 metros
Largo del campo solar	920 metro
Arreglo del campo solar	38 líneas de colectores cada línea con 10 módulos en serie Sin almacenamiento térmico
Apertura neta del campo solar	251,560 m ²
Temperatura de operación	270 °C
Presión de operación	70 bar

Tabla 5: Datos finales de la planta termosolar diseñada
Fuente: Elaboración propia

4.7 Ubicación de la planta

Las plantas de generación eléctrica necesitan ser instaladas en lugares que presten las condiciones idóneas, en caso de las plantas termosolares necesitan tener las condiciones descritas en el capítulo 2.

En el capítulo 3 se describieron las condiciones climáticas de la Paz Centro, de acuerdo con esto la mejor zona para implementar este proyecto es la zona sur, específicamente a los alrededores de la zona urbana de La Paz Centro, esto debido a que esta es la zona que cuenta con mayor radiación solar, terrenos planos, disponibilidad de agua, accesibilidad a carreteras principales y cercanía a la subestación eléctrica.

El lugar que se eligió para ubicar la planta termosolar es en la comarca La Concha ver en el anexo E, donde la inclinación del terreno es de un 1.58% aproximadamente cumpliendo así la necesidad de terrenos planos. La subestación más cercana se encuentra a 3.6 Km y se conecta a una red de transmisión de 69 KV que sale de la Subestación León II y pasa a 700 m hacia el norte de donde se ubicó la central y la zona urbana está a 2.5 Km.

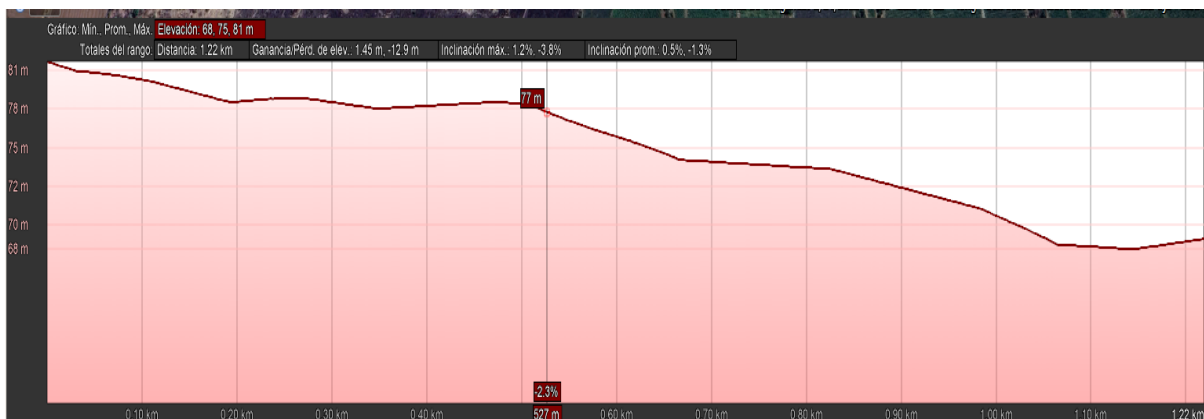


Figura 34: Desnivel del terreno
Fuente: Googleearthpro

Capítulo 5 Impacto ambiental de una central termosolar.

En este capítulo se va a describir como interacciona con el ambiente una planta termosolar, tanto en la fase de construcción de las instalaciones, como durante la fase de explotación.

El impacto ambiental de una central solar termoeléctrica de este tipo se va a centrar en el impacto paisajístico debido a la ocupación de una gran extensión. No obstante, en cuanto al resto de factores que pueden verse afectados dependerá mucho del entorno donde se va a realizar. Respecto a los beneficios ambientales cabe destacar que la energía solar termoeléctrica forma parte de un conjunto de energías renovables para la producción de energía eléctrica, en ausencia de procesos de combustión y por tanto en ausencia de emisiones de gases contaminantes a la atmosfera.

La gran ventaja de la energía solar termoeléctrica es poder producir electricidad de la misma forma que las centrales convencionales, pero utilizando como energía primaria la radiación solar concentrada. Se trata de una tecnología capaz de producir grandes cantidades de energía y contribuir de manera significativa al abastecimiento energético.

Cabe mencionar que debido a que el fluido de trabajo únicamente es agua, en caso de una fuga en el tubo colector o en las tuberías que transportan el fluido no existe ninguna contaminación para el ambiente, por el contrario, en centrales que utilizan aceites o sales fundidas, estos fluidos de trabajo si tienen un gran impacto en el medio ambiente, ya sea si existe una fuga en la instalación o cuando se reemplaza y se requiere un correcto reciclaje.

5.1 Identificación de los efectos sobre el medio (matriz de identificación)

En la matriz que se expone a continuación se han reflejado los factores del medio que pueden verse afectados, se han diferenciado las acciones o vectores de impactos que tienen lugar tanto en la fase de construcción como en la de explotación del proyecto. Para cada uno de los vectores de impacto se ha considerado el efecto que ejercería en el medio tanto por su presencia, como por su funcionamiento.

ACCIONES	FASE DE CONSTRUCCION							FASE DE EXPLOTACION						
	A condicionamiento terrestre y camii	Transito de maquinaria	Cimentaciones	Montaje de las instalaciones	Zanjas	Drenajes		Generacion de energia electrica	Accesos	Campo solar	Sistema turbogenerador	Sistemas auxiliares de la planta	Instalaciones electricas de la planta	Edificaciones
FACTORES														
CALIDAD DEL AIRE	X	X	X		X	X		X						
RUIDOS	X	X	X		X	X					X	X		
AGUAS SUBTERRANEAS			X									X		
AGUAS SUPERFICIALES														
SUELO Y MORFOLOGIA	X	X	X		X									
OCUPACION Y USOS DEL SUELO	X	X	X	X						X	X	X	X	X
FLORA Y VEGETACION	X									X				
FAUNA	X	X	X							X				
PAISAJE		X		X						X				X
INFRAESTRUCTURAS		X							X					
SOCIOECONOMICO	X		X	X	X	X		X					X	

Tabla 6: Matriz de identificación de impacto ambiental
Fuente: [9]

5.1.1 Impacto sobre la calidad del aire

Durante la fase de construcción del proyecto este factor se verá principalmente afectado por las emisiones de particular provocados por los movimientos de tierra y tránsito de maquinaria, así como por los gases de combustión emitidos por los vehículos. En cuanto a la afección respecto a la calidad del aire en la fase de explotación son nulas debido a que es generación con recursos renovables no existe la emisión de ningún gas.

5.1.2 Impacto sobre el suelo

El terreno donde se localizará la instalación es mayormente plana y dado a la necesidad de la tecnología Fresnel que hace necesario tener suelos planos, se reduce el impacto que se tendrá sobre el suelo, en el campo solar no es necesario realizar pavimentado únicamente en la zona de la planta de potencia.

5.1.3 Impacto sobre las aguas

En la fase de construcción se incide negativamente en este factor debido a las necesidades de utilización de agua para el proceso de construcción, lo cual implica la construcción de canalizaciones de transporte de agua u almacenamiento. Como acciones significativas potencialmente impactantes destacan: la construcción de la red de aguas, interrupción de fuentes de agua(ríos) y la posibilidad de vertidos accidentales de aceites de las maquinarias de trabajo. En la fase de explotación la actividad que incide negativamente en este factor es principalmente al uso del agua durante el proceso de generación tanto el agua necesaria para generar vapor como para realizar la limpieza de los espejos del campo solar.

5.1.4 Impacto sobre la flora

En la fase de construcción se incide negativamente en este factor debido principalmente a la necesidad técnica de ubicarse en suelos sin obstáculos. Por lo tanto, es necesario eliminar la vegetación existente en la zona, la ubicación seleccionada es en su mayoría de uso agrícola, lo cual permite reducir el impacto en la flora y en la fase de explotación se requiere mantener la parte del campo solar libre de vegetación.

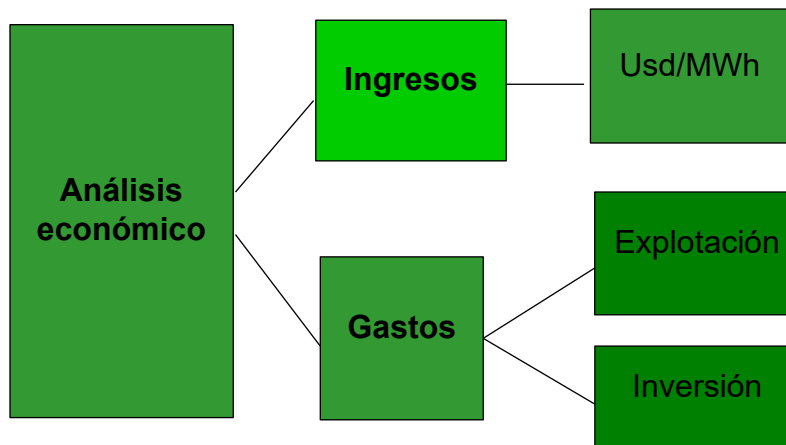
5.1.5 Impacto sobre el paisaje

Es el factor de más impacto durante la fase de explotación, debido a la instalación de la estructura del sistema de captación, ya que ocuparán una gran extensión los reflectores Fresnel. El efecto sobre el paisaje durante el periodo de obras vendrá dado por las infraestructuras temporales necesarias para la obra, el parque de maquinaria, el acopio de estructuras y materiales como almacenamientos de tierras procedentes de las excavaciones, etc...

Esta disrupción del paisaje dependerá mayor mente de la zona en que se ubique la planta, en zonas con un terreno con elevaciones, la central no será visible desde lugares lejanos por lo cual el impacto se reduce, no así en zonas con planicies donde la central podrá ser vista desde lugares muy alejados, como la central se ubica en planicies, esta se podrá ver desde muy lejos especialmente de las zonas montañosas ubicadas en el norte del municipio.

Capítulo 6 Análisis económico.

En el presente capítulo se expondrán los gastos asociados a la inversión inicial a llevar a cabo para poner en funcionamiento la planta, analizando por separado los costes de cada una de las partes que conforman la central; también se estudiarán los costes derivados de la explotación de la planta termosolar y los ingresos que genera a lo largo de su tiempo de vida.



*Figura 35: Esquema económico de una central eléctrica
FUENTE: Elaboración propia*

Los gastos de inversión corresponden a los siguientes puntos:

- Campo solar
- Bloque de potencia
- Sistema de acumulación (En nuestro caso no)
- Compra del terreno
- Evaluación energética

Los gastos de explotación son los siguientes:

- Operación
- Mantenimiento
- Seguro

6.1 Gastos de inversión

Para obtener los costos de las diferentes partes de una central termosolar se tomará como referencia los siguientes costos:

	Today	2025
A) Solar field incl. HTF (€/m ²)	160 – 250	100 – 160
B) Thermal Storage (€/kWhth)	26 – 30	18 – 21
C) PowerBlock (€/kWe)	720 – 765	700 – 790
D) System Efficiency	15% – 17%	18% – 20%

Tabla 7: Costos de los elementos de una central termosolar
FUENTE: [13]

Nombre del proyecto	costo total (millones de usd)	potencia (MW)	Almacenamiento	Precio del MW instalado (millones de usd)
Dhursar CSP Project	366.4	125	NO	2.931
Huaqiang TeraSolar	105.49	15	SI (14 Horas)	7.033
Lanzhou Dacheng Dunhuang	253.19	50	si (15 horas)	5.064
Liddell Power Station CSP Project	9.25	3	NO	3.083
Puerto Errado 2	169.4	30	si(0.5 horas)	5.647

Tabla 8: Costos totales de proyectos con tecnología Fresnel
Fuente: [32]

En la tabla 7 se muestran los costos para el rango de precios en la actualidad y sus precios estimado en el 2025 del campo solar, almacenamiento térmico y bloque de potencia, así mismo en la tabla 8 se obtuvieron los costos de diferentes proyectos de centrales termosolares Fresnel alrededor del mundo, en esta tabla se identifican a 2 plantas sin almacenamiento térmico el cual tiene un costo aproximado de 3 millones de dólares por MW eléctrico.

Por lo tanto, para el costo de la central eléctrica diseñada seria de:

$$Costo_{Total} = P_{inst} * \$/MW$$

$$Costo_{Total} = 30 * 3,000,000\$ = 90,000,000 \$$$

6.2 Gastos de operación, mantenimiento y seguros

Los costes de operación y mantenimiento hacen referencia al gasto anual que se realiza en la planta para que la instalación se mantenga en operación y produciendo el máximo de energía posible. El rango típico de costos de operación y mantenimiento andan en 0.02 \$/KWh a 0.04 \$/KWh.

La póliza o seguro de una planta de generación depende de cuan segura es la ubicación del proyecto, pero estos costos generalmente oscilan entre 0.5% a 1% del desembolso del capital inicial.

6.3 Ingresos

Los ingresos de una planta de generación de energía eléctrica vienen en función de la electricidad que genere y el precio de venta de ésta.

En el caso de Nicaragua el precio de la energía varía según el sector en el que se venda:

- Mercado de ocasión interno: El mercado energético de ocasión en Nicaragua es el sistema de compra y venta de energía eléctrica a corto plazo, la resolución ministerial No-DGERR-002-2017 establece la banda de precios para la venta de energía eléctrica de origen renovable en el mercado de ocasión, donde la generación eléctrica de fuente solar tiene un precio de 70 USD\$/ MWh
- Contratos con el distribuidor u otros agentes: en este mercado el precio de la energía varía según su origen y negociaciones entre partes. El precio para la energía generada con paneles fotovoltaicos es de 113.64 USD\$/MWh y la generación térmica en 186.80 USD\$/ MWh. [10]

Para poder obtener los ingresos por generación de energía es necesario calcular la potencia que generaría la central termosolar en un año, tomado los datos de la fig.27 que corresponde a la radiación solar promedio por metro cuadrado en los 12 meses del año.

En base a esto, obtenemos la siguiente tabla:

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Generacion electica por hora (MW/h)
6 - 7	10.07	11.37	16.87	16.93	12.30	12.48	11.68	12.79	13.29	13.91	17.00	13.29	
7 - 8	30.00	30.00	30.00	28.61	20.52	20.09	20.46	22.87	23.05	22.87	29.73	30.00	
8 - 9	30.00	30.00	30.00	30.00	27.19	25.90	26.82	29.17	29.11	28.06	30.00	30.00	
9 - 10	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	
10 - 11	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	
11 - 12	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	
12 - 13	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	
13 - 14	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	29.67	30.00	30.00	
14 - 15	30.00	30.00	30.00	30.00	28.55	24.91	24.91	26.51	24.17	24.29	30.00	30.00	
15 - 16	30.00	30.00	30.00	30.00	22.74	17.98	18.91	19.28	18.05	17.55	24.72	30.00	
16 - 17	27.38	30.00	30.00	23.36	15.64	12.24	12.73	12.48	10.51	9.70	14.52	19.72	
17 - 18	6.86	11.19	11.68	8.10	5.81	5.75	5.93	5.38	2.66	0.62	0.56	1.17	
Mw/h/mes	9,560.33	9,811.12	9,993.47	9,642.27	8,600.40	8,192.47	8,256.39	8,470.69	8,237.59	8,110.86	9,019.27	9,252.04	107,146.89

Tabla 9: Simulación de generación eléctrica de la central en el periodo de un año
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con esta tabla la generación eléctrica en un año es de 107,146.89 MW/h, para calcular los ingresos se harán 2 cálculos uno con el precio de la electricidad en el mercado de ocasiones y el segundo en el mercado de contratos.

En el caso del mercado de contratos, debido a que en el país no existe un antecedente de un contrato de compra de energía eléctrica de origen termosolar se tomara el precio medio entre la energía solar y la térmica el cual sería 150.22 \$/MW. Con este precio la planta genera un ingreso anual de 16,095,605.81 USD.

Por otro lado, el mercado de ocasiones tiene un precio regulado que para este análisis se tomara el monto más alto, que es 70 USD\$/MW, por lo cual en un año la planta generaría un ingreso de 7,500,282.30 USD.

6.4 Impacto económico en el país

6.4.1 Impacto en el mercado energético nacional

Según los registros hechos por el INE el país tuvo una demanda de energía en el 2021 de 4,746.33 GWh y con una generación neta nacional de 3,741.09 GWh, lo que implica que el país no tiene la capacidad de abastecer el mercado nacional, por lo cual requiere realizar compras de electricidad en el exterior (Importaciones).

En el periodo de 2020 y 2021 las importaciones de electricidad hacia el país no variaron significativamente, solo hubo una disminución del 6.11%.

TRANSACCIONES	Año		Variación	Variación
	2020	2021	Absoluta	%
IMPORTACIONES	1,070,686.65	1,005,237.95	-65,448.70	-6.11
EXPORTACIONES	2.00	0.00	-2.00	-100.00

Tabla 10: Importaciones y exportaciones (MWh)
FUENTE: [10]

A nivel económico lo que implican las importaciones eléctricas es una fuga de capital hacia el extranjero, poniendo el precio de la energía con el costo monomérico de 135.97 USD\$/MWh, se traduce en 136,682,204 USD.

En caso implementar una planta termosolar como la que se diseñó en este documento la cual tiene una generación anual aproximada de 107,146.89 MW/h año, lo que implicaría una reducción de las importaciones y la dependencia energética con el extranjero.

6.4.2 Impacto sobre el empleo

El impacto total en empleo de las plantas termosolares generó 2,3 puestos de trabajo por MW de potencia instalada, y que comparación con otras fuentes de energías renovable la termosolar genera un 33% más que el empleo medio generado por las tecnologías renovables. [24]

Los sectores más beneficiados de manera directa por la operación de la planta termosolar es el sector de servicios de ingeniería, servicios científicos y técnicos, maquinaria y equipos, seguros. Como impacto indirecto el sector más beneficiado son comercio, alojamientos y comedores.

Capítulo 7 Conclusión.

Las tecnologías de concentración solar se encuentran en pleno desarrollo tecnológico y comercial en la actualidad. En los primeros capítulos del presente trabajo se ha podido seguir la evolución de las tecnologías termosolares a lo largo de los años y como se está consiguiendo su competitividad frente a otras tecnologías de generación. La energía termosolar a menudo es comparada con la eólica, pero cada mega watt eólico debe tener el respaldo de otro tipo de energía, normalmente de la producción en centrales de ciclo combinado, porque no es predecible ni almacenable. Dos problemas que la energía termosolar no tiene.

Las plantas termosolares se dividen en 3 principales tecnologías torre de receptor central, cilindro parabólica y Fresnel. En este trabajo se seleccionó la tecnología Fresnel como una de las mejores tecnologías para aplicarse en el país, esto debido a su sencillez y bajo costo con respecto a las otras tecnologías esto la hace más atractiva, tomando en cuenta las condiciones del país y para abaratar un poco más el costo de la central tanto como su inversión inicial y posteriormente en el mantenimiento, se determinó no utilizar almacenamiento térmico, esto quiere decir que la planta no generara energía por la noche. Debido a que no se usara almacenamiento térmico, y debido a que esto no es necesario ni recomendable por su alto costo al utilizar aceites o sales fundidas como fluido de transferencia de calor, por lo cual se optó por la generación directa de vapor en los colectores lo que se traduce en una mayor eficiencia en la central.

Una de los parámetros más importantes a tener en cuenta para la implementación de una central termosolar es la radiación normal directa(DNI) y en la zona de estudio La Paz Centro es una de las regiones con más radiación solar en el país, aunque los niveles de radiación no son uniformes en toda la extensión del municipio, las comunidades con mayor radiación y las más idóneas para ubicar centrales solares son el socorro, la sabaneta, la concha, el chorizo y la paz de cristo, todas estas comunidades con una radiación promedio anual de 2100 KW/m² y para que una termosolar sea viable se recomiendan una radiación de alrededor de 2000 KWh/m², con el resto de condiciones necesarios para poder implementar las tecnologías termosolares tales como vientos, nubosidad, ocupación de suelos, topografía y ocupación del terreno, las zonas que cumplen estas condiciones son únicamente las comunidades antes mencionadas, esto hace que la paz centro cuente con un gran potencial energético solar y que tiene una capacidad de generar 523.518 KWh/m² al año utilizado la tecnología Fresnel y con una extensión útil para este tipo de tecnologías de alrededor de 65,000,000 m².

La termosolar que se decidió diseñar se estableció con una potencia nominal de 30 MW eléctricos y se ubicaría en la comunidad de la cocha esto debido a que esta comunidad cuenta con grades extensiones de terreno capaces de poseer una planta termosolar de estas dimensiones también la red de transmisión eléctrica de 69 kv pasa a 700 m de la ubicación seleccionada y la subestación esta a 2.5 km, esta planta termosolar contaría con dos turbogeneradores de la marca SIEMENS de 15 MW cada uno, con respecto al campo solar se expusieron diferentes fabricantes de colectores y se seleccionó el colector del fabricante Hitachi zosen por su mayor eficiencia con respecto a los otros. Los cálculos que se hicieron arrojan que para poder generar 30 MW se requiere una cantidad de 378.43 colectores sin embargo en el diseño de las dimensiones del campo solar se necesitan 380 colectores (10 colectores en serie y 38 filas en paralelo). El campo de colectores generara vapor sobrecalentado a 270 °C a 70 bar de presión.

El espacio requerido para esta central termosolar es de alrededor de 270,000 m², siendo el campo solar lo que más espacio ocupa.

Otro apartado muy importante en las centrales termosolares es el impacto ambiental en su construcción y explotación, para este estudio se tomó como referencia una matriz de identificación de impacto ambiental para este tipo de plantas donde se determinó que el impacto de esta planta en el medio ambiente seria sobre la calidad del aire, el suelo, aguas, la flora, fauna y paisaje, siendo el este último punto el de mayor importancia debido a que la planta termosolar se ubicó en un terreno de uso agrícola. El momento donde más se ve afectado el ambiente es en la construcción, debido al movimiento de equipos y el tránsito de maquinaria pesada.

En el análisis económico se determinó que una planta termosolar de estas características ronda una inversión de 90 Millones de dólares americanos y en la etapa de explotación la planta generaría un gasto por operación, mantenimiento y seguro de 3,042,937.8 dólares americanos aproximadamente.

Debido a que el país no cuenta con la generación necesaria para abastecer el mercado nacional, la implementación de esta planta significaría una disminución en las importaciones de energía de unos 107,146.89 MW/h/año, lo que a su vez implica que el país no comprara al extranjero energía por alrededor de 16,095,605.81 de dólares americanos.

Bibliografía

Libros

- [1] Creus Sole, A. (2014). "Energía termosolar". Recuperado el 25 de mayo de 2021, de <https://elibro.net/es/ereader/uninicaragua/43060?page=3>
- [2] Bayod Rújula, Á. A. (2009). Energías renovables: sistemas fotovoltaicos. Recuperado el 2 de mayo de 2021, de <https://elibro.net/es/ereader/uninicaragua/41940?page=6>
- [3] ANCEFN. (2016). ENERGÍA SOLAR. ARGENTINA: Miguel A. Laborde & Roberto J.J. Williams.
- [4] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. (2011). Solar Energy Perspective.
- [5] Pedro Rufez Martinez . (2010). ENERGÍA SOLAR TÉRMICA: técnicas para su aprovechamiento. Barcelona: marcombo.
- [6] Miguel Pareja Aparicio. (2010). RADIACIÓN SOLAR Y SU APROVECHAMIENTO. BARCELONA: Marcombo
- [7] Madrid Solar. (2012). GUÍA TÉCNICA DE LA ENERGÍA SOLAR TERMOELÉCTRICA. España: Graficas Arias Montano.
- [8] Appsol, Manual de diseño de Sistemas Solares Térmicos para la Industria Chilena, Chile.
- [9] Gemasolar (2007), ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL "planta de generación solar termoeléctrica de 17 MW en finca la Monclova y línea de evacuación hasta subestación Villa Nueva del Rey"
- [10] MEM(2021), ANUARIO ESTADISTICO DEL SECTOR ELECTRICO NACIONAL.
- [11] Téllez, Félix (2008). Energía solar termoeléctrica: tipologías y primeros pasos del surgimiento comercial.
- [12] García, Cruz y Lacal, Roberto (Greenpeace). Energía solar termoeléctrica
- [13] Entremont, Alan(1997). Geografía económica. Editorial Cátedra, Madrid.

Artículos científicos

- [14] Cayetano Espejo Marín. Ramón García Marín (2010). La energía solar termoeléctrica en España. Recuperado el 18 de mayo de 2021, de <https://core.ac.uk/download/pdf/38822938.pdf>
- [15] Dr. Christoph Richter, Sven Teske y Rebecca Short (2009). Perspectiva Mundial 2009. Energía Solar Térmica de Concentración, Recuperado el 5 de mayo de 2021, http://www.solarpaces.org/wp-content/uploads/csp_2009_spanish.pdf
- [16] Dr. Sven Teske, Dr. Janis Leung,(2016).Solar Thermal Electricity Global Outlook, Recuperado el 7 de Marzo de 2022, <https://www.gcca.eu/sites/default/files/2020-04/2016%20ESTELASOLARPACES%20Solar%20Thermal%20Electricity%20Global%20Outlook.pdf>
- [17] IRENA (2021), Renewable Power Generation Costs in 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- [18] iea(2020), Projected Costs of Generating Electricity , International Energy Agency, Italy.
- [19] Dr. Andreas Häberle, Stephan Scherer, Michael Berger, Johannes Farian. (2014). FRESNEL CSP TECHNOLOGY. Heliothermal Energy Project,Brazil.
- [20] Novatec Solar (2012), Proposal to Lanco
- [21] Novatec Biosol, THE FUTURE. TODAY “PE 1- La primera central eléctrica solar Fresnel del mundo en funcionamiento con fines comerciales.
- [22] ABB(2012). Power generation, power systems division.
- [23] Hem Raj Sharma-C Suresh Kumar(2017). Performance improvement of 125 Mw csp solar thermal power plant of reliance power, dhursar, rajasthan, india.
- [24] PWC(2019). La industria termosolar como motor económico en España

Tesis

- [25] Roldan Chiriboga Pablo, Evaluación de las Energías Renovables No Convencionales factibles de desarrollarse en Ecuador, Tesis de licenciatura, Escuela Politécnica Nacional, Quito
- [26] Eduardo Zarza Moya (2013), Generación directa de vapor con colectores solares cilindros parabólicos, Tesis doctoral, Universidad de Sevilla.

[27] Víctor Caminero Ocaña (2014), ANÁLISIS ECONÓMICO DE VIABILIDAD DE UNA PLANTA TERMO-SOLAR, Tesis de licenciatura, Universidad Pontificia Comillas.

[28] Carlos Andrade-Liviapoma (2015), METODOLOGÍA DE DISEÑO DE UN GENERADOR DE VAPOR ACUOTUBULAR BAGACERO, Tesis de licenciatura, Universidad de Piura.

Sitios Web

[29] Susan Kraemer. (2017). CSP Doesn't Compete With PV – it Competes with Gas. 11 de Marzo del 2022, de SolarPaces Sitio web: <https://www.solarpaces.org/csp-competes-with-natural-gas-not-pv/>

[30] Dana Bolles. (2008). How do Photovoltaics Work?. 11 de marzo del 2022, de NASA Sitio web: <https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells>

[31] Helioscsp. (2019). Concentrated Solar Power (CSP) Vs Photovoltaic (PV). 9 de marzo del 2022, de Helioscsp Sitio web: <https://helioscsp.com/concentrated-solar-power-csp-vs-photovoltaic-pv/>

[32] NREL, Linear Fresnel Projects . 1 de septiembre del 2023, Sitio web: <https://solarpaces.nrel.gov/by-technology/linear-fresnel>

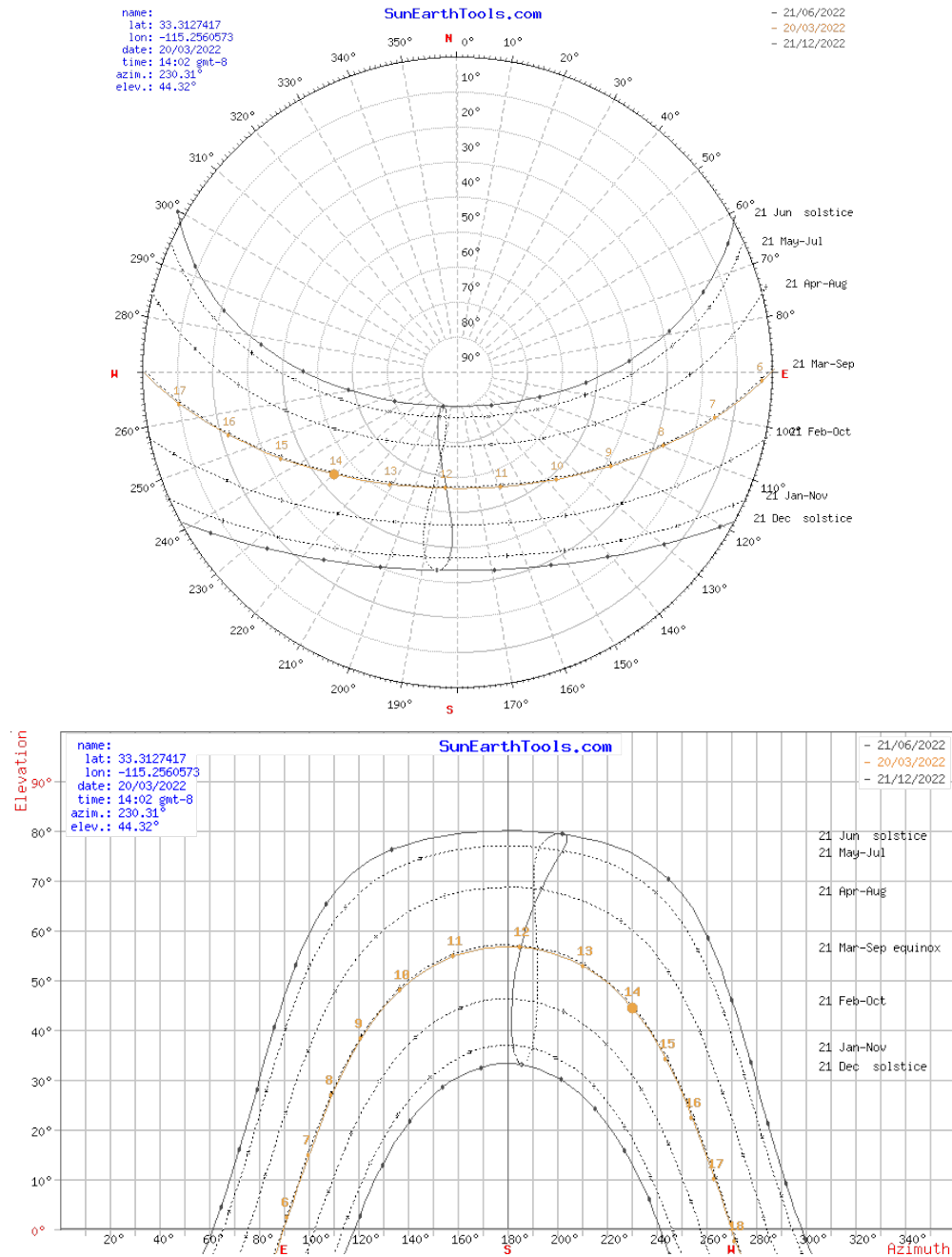
[33] TEKNIKER, Optimización del consumo de agua en plantas TERMOSOLARES. 25 de marzo del 2024, Sitio web: <https://www.tekniker.es/es/optimizacion-del-consumo-de-agua-en-plantas-termosolares#:~:text=Al%20igual%20que%20otras%20tipologías,y%20la%20refrigeración%20del%20ciclo.>

[34] Alcaldía, Datos Generales del Municipio. 10 de abril del 2024, sitio web. <https://lapazcentro.com/index1.htm>

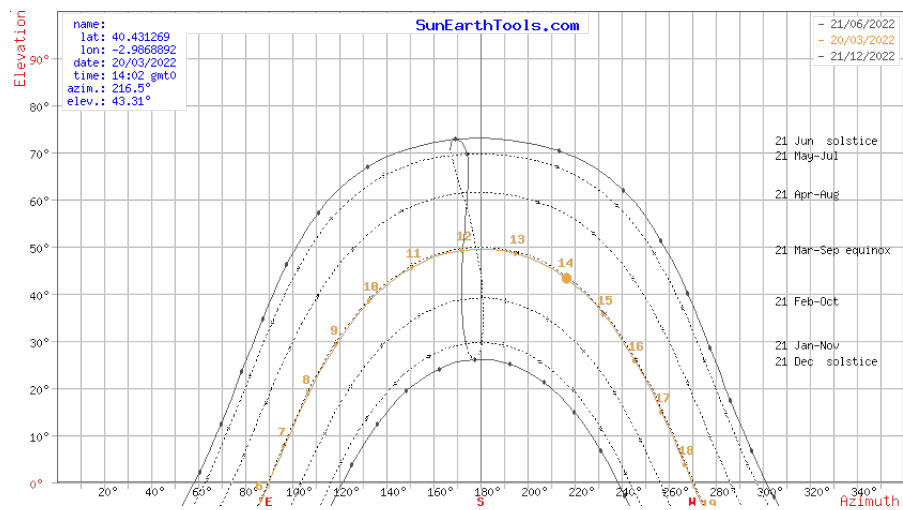
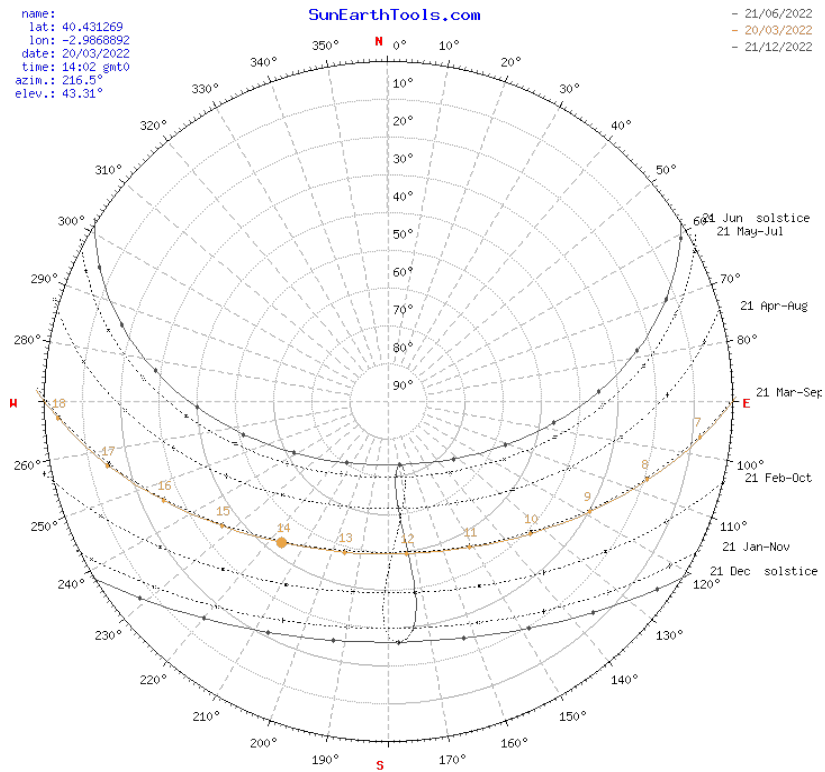
ANEXOS

Anexo A. Trayectoria del sol en diferentes países que han aplicado energía termosolar

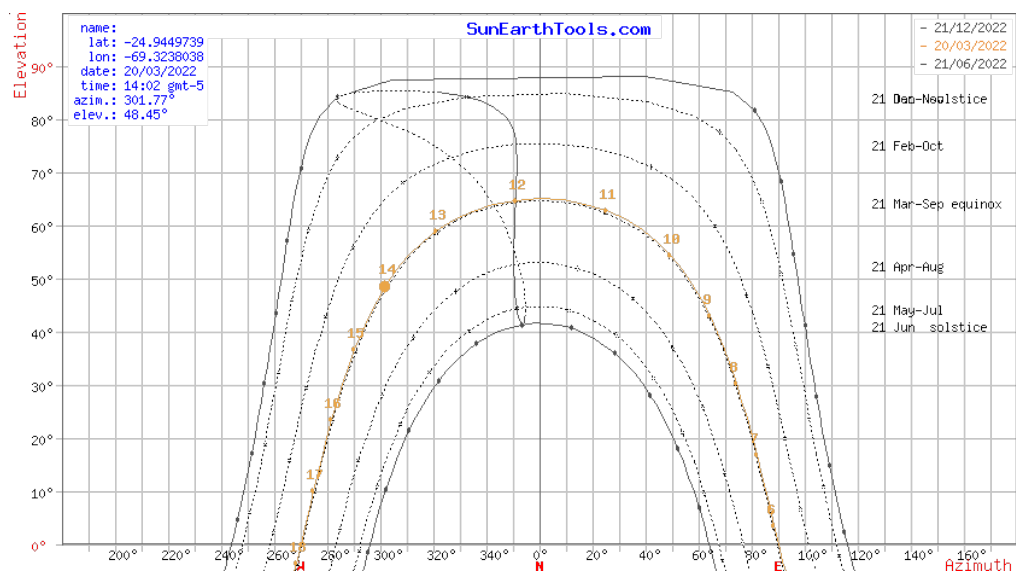
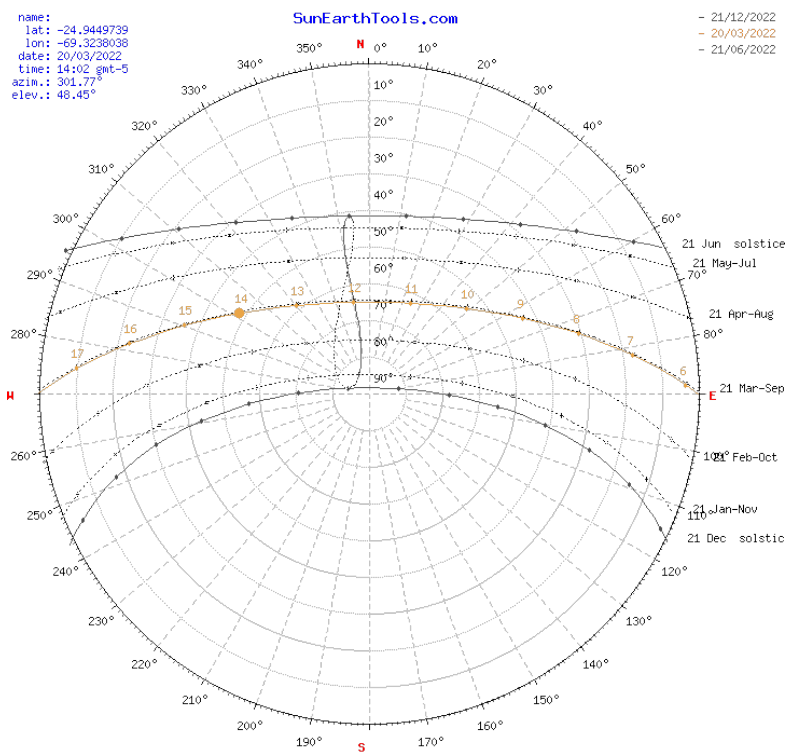
ESTADOS UNIDOS



ESPAÑA



CHILE



Anexo B. Fabricante de receptores lineales Fresnel y sus especificaciones

Fabricantes	Material reflectante espejos ⁽¹⁾	$A_{\text{ap,eta}}$ por módulo (m ² /módulo)	Longitud de apertura de un módulo L (m)	Anchura neta de apertura de un módulo D (m)	Configuración del receptor	Diámetro externo del tubo receptor d (mm)	Factor de concentración geométrico C_g	Longitud focal f (m)	Eficiencia óptica η_0 (%)	T_{op} (°C) ⁽²⁾
AIRA termosolar	N.D. ⁽³⁾	1233	N.D.	18	Monotubo	N.D.	N.D.	N.D.	72,67	50 - 300
Chromasun	1 ^{os} : Al 2 ^{os} : Al	3,39	2,76	1,23	Monotubo	16	48,94	0,32	56,5	60 - 220
CNIM	1 ^{os} : Al o Ag 2 ^{os} : N.D.	720	36	20	Monotubo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Feranova	Al	3125	125	25	Monotubo	N.D.	127,32	10	N.D.	200 (agua), 550 (sales fundidas)
Glax Tech	1 ^{os} : Al 2 ^{os} : N.D.	37,5	7,8	4,8	Monotubo	8,8	54,634	N.D.	69,2	<230 - 250
Himin Solar	Al	4,32	2,4	1,8	Monotubo	120	9,55	N.D.	72	100 - 350
Hitachi Zosen Corporation	N.D.	662	92	7.2	Monotubo	90	50,93	2,6	74	100 - 340

Fabricantes	Material reflectante espejos ⁽¹⁾	A _{ap,eta} por módulo (m ² /módulo)	Longitud de apertura de un módulo L (m)	Anchura neta de apertura de un módulo D (m)	Configuración del receptor	Diámetro externo del tubo receptor d (mm)	Factor de concentración geométrico C _g	Longitud focal f (m)	Eficiencia óptica η ₀ (%)	T _{op} (°C) ⁽²⁾
Industrial Solar Thermal	1 ^{os} : Ag 2 ^{os} : Al	22,33	4,06	5,5	Monotubo	70	50,02	4	63,5	130 - 200 (agua presurizada), 130 - 400 (aceite térmico).
INERSUR	1 ^{os} : Ag o Al 2 ^{os} : no	44,8	8	5,6	Multitubo (parrilla plana de 8 tubos)	15	29,71	4	70	N.D. - 150
Mulk Enpar Renewable Energy	1 ^{os} : Al 2 ^{os} : N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Monotubo	N.D.	19,1	N.D.	61 - 62	164
Novatec Solar	1 ^{os} : Ag 2 ^{os} : N.D.	513,6	42,8	12	Monotubo	<153	>50	7,4	67	550
Solar Euromed	1 ^{os} : Al 2 ^{os} : Al	400	40	10	Monotubo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	311 (prototipo); 300 - 500 (comercial)
Soltigua	1 ^{os} : Al 2 ^{os} : N.D.	37,125	6,2 - 6,25	5,94 - 5,99	Monotubo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	220 (agua presurizada), 320 (aceite térmico)

Anexo C. Catálogo de turbinas de vapor

Industrial steam turbines from 2 to 250 MW

SST-300 Industrial steam turbine

The SST-300 is an optimal solution for a wide range of applications due to the implementation of the best technology combined with over 20 years of experience. In the last decade alone, this turbine has been installed in over 500 industrial and power applications by customers all over the world.

The flexible configuration of the SST-300 enables it to be used in diverse applications such as waste-to-energy, chemical processing, pulp and paper, cement and many more.

All components and auxiliaries including the lube oil system are mounted on a common base frame. The turbine can be configured with either an upward, downward or axial exhaust orientation depending on the layout of the plant. The turbine can also accommodate multiple steam extraction/steam induction points as well. The compact design and simple layout of the turbine significantly reduce the cost and time associated with its construction, inspection and maintenance.



At a glance

- All components and auxiliaries can be mounted on a common base frame or skid
- Short erection time at site due to a "plug and play" system
- Fast, early and flexible layout planning

SST-300

Power output	up to 60 MW
Speed	up to 12,000 rpm
Live steam parameters	
Inlet pressure	140 bar / 2,030 psi
Inlet temperature	540 °C / 1,004 °F
Exhaust steam parameters	
Back pressure	0.05–0.15 bar (a)
Condensing	0.15–0.50 bar (a)
District heating	2–20 bar(a)
Controlled extractions (up to 2)	
	Single or double, adaptive stage, nozzle control, throttle control
Pressure	up to 25 bar / 362 psi
Temperature	400 °C / 752 °F
Uncontrolled extractions (up to 6)	
Pressure	up to 60 bar / 870 psi

Industrial steam turbines from 2 to 250 MW

SST-300

Valve arrangement

Internal valve arrangements (or adaptive stages) control the steam flow and maintain constant process steam extraction pressures over a wide flow range.

Reaction Blading

The rotor is fitted with resonance-proof fully shrouded blading. The last stage is free standing with a damping wire (condensing steam turbine)

Exhaust

Equipped with upward, downward or axial exhaust orientation

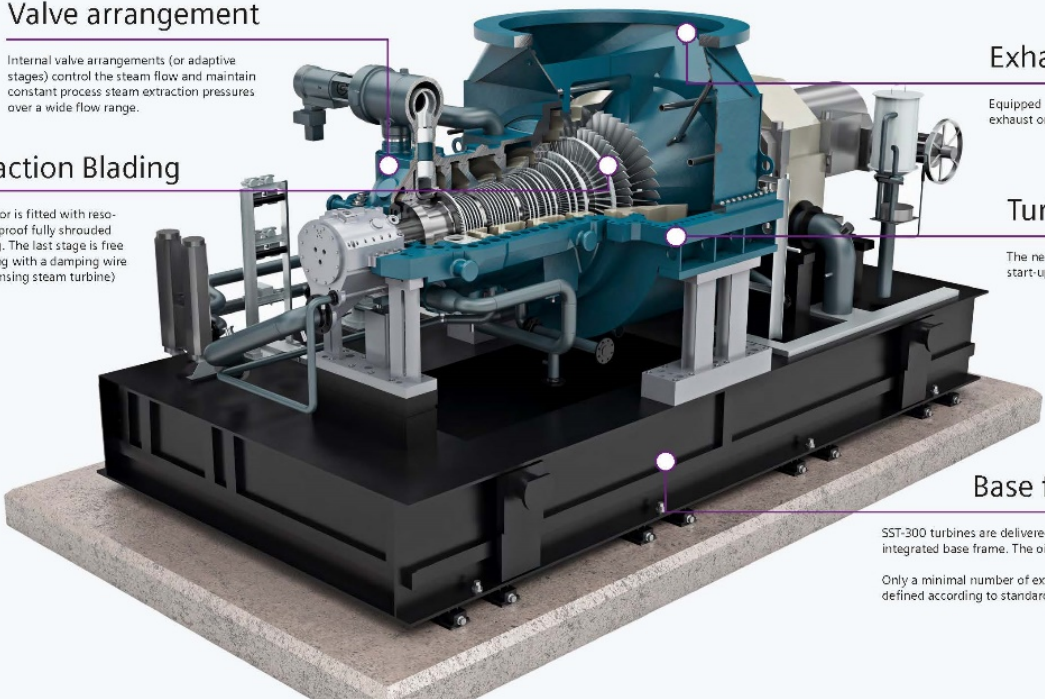
Turbine Casing

The nearly symmetrical casing allows short start-up times and quick load changes.

Base frame

SST-300 turbines are delivered as packaged units with simple or integrated base frame. The oil tank is inside the base frame.

Only a minimal number of external connections, which are clearly defined according to standards, ensure fast and easy installation.



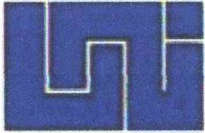
Anexo D. Información de planta termosolar PE 2

Basic information on the solar thermal power plant PE 2

Company	TuboSol PE 2 S.L.
Product name	NOVA-1
Type	28 rows of linear Fresnel collectors, 2 conventional steam turbines and generators
Solar field length	940 m
Solar field width	590 m
Primary mirror height	1,15 m
Receiver height	7,40 m
Aperture width (= sum of primary mirror width)	12 m
Net Aperture surface	302'000 m ²
Primary mirror	3 mm thick glass silver coated, bonded galvanized sheet steel elements, fully automatic manufactured
Receiver	Upper side insulated with 60 mm fibre glass wool, no vacuum
Supporting structure	Steel frame and guy wires, galvanized
Tracking	single-axis, with two lifting cylinders each for 128 primary mirrors
Optical efficiency (based on direct radiation)	New: 67 % after 25 years: $\geq 63.7\%$
Operating temperature	up to 270 ° C
Operating pressure	up to 70 bar
Monitoring / Controlling	Internet / TCP IP
Thermal peak performance per m ² of primary mirror aperture surface at 900 W/m ² direct irradiation	502,3 W _{th} /m ²
Thermal peak performance of the power plant	151 MW _{th}
Electrical peak performance of the power plant	30 MW _{el}
Projected power production	~50'000 MWh/a

Anexo E. Ubicación de la planta termosolar





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE INGENIERÍA Y AFINES
SECRETARÍA DE ÁREA ACADÉMICA

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2024

No. Recibo	No. Inscripción	382
NOMBRES Y APELLIDOS: Albert Kevin Martinez López		
CARRERA: INGENIERÍA ELECTRICA	CARNET: 2017-0439U	TURNO: Diurno
PLAN DE ESTUDIO: 2015	SEMESTRE: PRIMER SEMESTRE 2024	FECHA: 06/03/2024

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					
NO VALIDO SIN FIRMA Y SELLO						

F: Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura

NOTA: NO VALIDA SIN FIRMA Y SELLO
Pasar retirando Hoja de Matricula en
Secretaría, presentando Recibo
Correspondiente
cc: ORIGINAL: ESTUDIANTE - COPIA: EXPEDIENTE

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 09-abr.-2024


FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO





Área de Conocimiento de
Ingeniería y Afines

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE INGENIERÍA Y AFINES** hace constar que:

MARTINEZ LÓPEZ ALBERT KEVIN

Carné: **2017-0439U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRICA**, en el año 2021 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los cinco días del mes de abril del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,



Msc. Augusto César Palacios Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA



Teléfono: (505) 2251 8276



Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso.
Managua, Nicaragua.



luis.chavarria@fti.uni.edu.ni
www.uni.edu.ni