

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA,

INFORMATICA Y MECANICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA CENTRAL TERMOSOLAR PARA
SATISFACER LA DEMANDA DEL SISTEMA ELECTRICO AISLADO DE
ATICO – AREQUIPA 2023**

PRESENTADO POR:

Br. JAIR RICHERD SAIRE MOLINA

PARA OPTAR AL TITULO

PROFESIONAL DE INGENIERO

ELECTRICISTA

ASESOR:

Dr. ARTEMIO JANQUI GUZMÁN

CUSCO-PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor ARTEMID JANQUI GUZMAN.....
 quien aplica el software de detección de similitud al
 trabajo de investigación/tesis titulada: PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA
CENTRAL TERMOSOLAR PARA SATISFACER LA DEMANDA
DEL SISTEMA ELECTRICO AISLADO DE ATICO - AREQUIPA 2023

Presentado por: JAIR RICHERD SAIRE MOLINA..... DNI N° 72665619.....;
 presentado por: DNI N°:
 Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO ELECTRICISTA.....

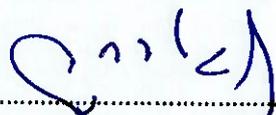
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 3.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 11 de SEPTIEMBRE de 2025.....



 Firma

Post firma... ARTEMID JANQUI GUZMAN

Nro. de DNI... 23827227.....

ORCID del Asesor... 0000-0002-9191-8364.....

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:496035325.....

TESIS_FINAL JAIR RICHERD SAIRE MOLINA.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:496035325

Fecha de entrega

10 sep 2025, 4:39 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

10 sep 2025, 5:03 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_FINAL JAIR RICHERD SAIRE MOLINA.pdf

Tamaño del archivo

8.3 MB

125 páginas

24.523 palabras

150.065 caracteres

3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)
- ▶ Trabajos entregados
- ▶ Fuentes de Internet

Exclusiones

- ▶ N.º de fuentes excluidas
- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
156 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

PRESENTACION

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Mecánica e Informática de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Señores docentes miembros del jurado, en cumplimiento de las normas estipuladas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica presento la tesis intitulada **“PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA CENTRAL TERMOSOLAR PARA SATISFACER LA DEMANDA DEL SISTEMA ELECTRICO AISLADO DE ATICO – AREQUIPA 2023”** con el objetivo de optar al título profesional de Ingeniero Electricista.

Saire Molina Jair Richerd

DEDICATORIA

A mi mamá, Carolina Molina Bautista, por su incondicional apoyo, que ha sido la base para cumplir mis objetivos. Por sus consejos, su cariño y cada uno de sus esfuerzos, que han guiado mi camino y me han impulsado a seguir adelante.

Br. Jair R. Saire Molina

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi sincero agradecimiento al Ing. Artemio Janqui Guzmán, por su disponibilidad, apoyo y orientación en la elaboración de la presente tesis.

Agradezco a los Ingenieros con quien tuve la oportunidad de compartir experiencias académicas y laborales, por su ayuda, comprensión y tolerancia.

Br. Jair R. Saire Molina

RESUMEN

Actualmente, el Sistema Eléctrico Aislado de Ático se abastece mediante una central térmica convencional. Ante esta situación, se requiere una nueva fuente de generación eléctrica sostenible, capaz de satisfacer la demanda y que sea amigable con el medio ambiente. En este contexto, la presente tesis tiene como objetivo proponer el diseño de una central eléctrica para satisfacer la demanda al Sistema Eléctrico Aislado de Ático. Asimismo, en cuanto a la metodología tiene un alcance descriptivo correlacional, con un diseño no experimental y transversal, de nivel aplicativo y con un enfoque cuantitativo.

Por lo que, se identificaron los recursos de generación eléctrica renovable no convencional, y, considerando su disponibilidad, se analizaron las tecnologías que utilizan el recurso solar: fotovoltaica y termosolar (colectores cilindro-parabólicos, sistemas lineales Fresnel y torre central), seleccionándose la tecnología de colectores cilindro-parabólicos como la más adecuada. La propuesta de diseño de una central termosolar de cilindros parabólicos con colectores del tipo Eurotrough, tubos absorbedores Schott PTR 70, fluido caloportador Therminol PV1, fluido de almacenamiento de sales fundidas y Radiación Directa Normal (DNI) de 1908.9 kWh/m² con una potencia neta de 1.315 MW con sistema de almacenamiento de 24 horas genera 7,735,557 kWh. e incluyendo un sistema backup de respaldo genera 9,891,415 kWh satisfaciendo la demanda del año 2023 de 3,085,386 kWh en el Sistema Eléctrico de Ático.

Palabras clave: Centrales Termosolares, Cilindros Parabólicos, Sistema Eléctrico Aislado de Ático

ABSTRACT

Currently, the Attic Off-Grid Power System is supplied by a conventional thermal power plant. Given this situation, a new, sustainable source of electricity generation is required, capable of meeting demand and being environmentally friendly. In this context, this thesis aims to propose the design of a power plant to meet the demand of the Attic Off-Grid Power System. The methodology is descriptive and correlational, with a non-experimental and cross-sectional design, an application-based approach, and a quantitative approach.

Therefore, non-conventional renewable electricity generation resources were identified, and, considering their availability, the technologies that utilize solar resources were analyzed: photovoltaic and solar thermal (parabolic trough collectors, linear Fresnel systems, and central tower), selecting parabolic trough collectors as the most appropriate. The design proposal for a parabolic trough solar thermal power plant with Eurotrough-type collectors, Schott PTR 70 absorber tubes, Therminol PV1 heat transfer fluid, molten salt storage fluid, and Direct Normal Radiation (DNI) of 1908.9 kWh/m² with a net power of 1,315 MW with a 24-hour storage system generates 7,735,557 kWh. and including a backup system generates 9,891,415 kWh, satisfying the 2023 demand of 3,085,386 kWh in the Attic Electrical System.

Keywords: Solar Thermal Power Plants, Parabolic Troughs, Isolated Attic Electrical System

INDICE GENERAL

Presentacion.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Índice General.....	vi
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tablas.....	xiii
Glosario.....	xiv
Glosario de Siglas.....	xvi
CAPITULO I. GENERALIDADES	1
1.1 Descripción General	1
1.2 Ubicación Geográfica	1
1.3 Descripción del Problema.....	1
1.4 Formulación del Problema.....	4
1.4.1 Problema Principal.....	4
1.4.2 Problemas Específicos	4
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo General	5
1.5.2 Objetivos Específicos	5
1.6 Formulación de Hipótesis	5
1.6.1 Hipótesis General.....	5
1.6.2 Hipótesis Especificas	6
1.7 Justificación del Problema.....	7
1.7.1 Justificación Técnica.....	7
1.7.2 Justificación Económica	7
1.7.3 Justificación Social	7
1.7.4 Justificación ambiental.....	7
1.8 Metodología de la Investigación.....	7
1.8.1 Enfoque de investigación	7
1.8.2 Alcance de investigación	8
1.8.3 Diseño de investigación	8
1.8.4 Nivel de investigación.....	8
1.9 Variables e Indicadores	8
1.9.1 Variable dependiente	8

1.9.2 Variable independiente	8
1.10 Alcances y Limitaciones.....	9
1.10.1 Alcances.....	9
1.10.2 Limitaciones.....	9
1.11 Población y Muestra	9
1.11.1 Población.....	9
1.11.2 Muestra	9
1.12 Recolección y Procesamiento de Datos.....	9
1.12.1 Técnica de recolección de datos	9
1.13 Procedimiento para la recolección de datos.....	10
1.14 Procesamiento de Datos.....	10
1.15 Matriz de Operacionalización de Variables.....	11
1.16 Matriz de Consistencia	12
CAPITULO II. MARCO TEORICO	13
2.1 Introducción.....	13
2.2 Antecedentes Internacionales	13
2.2.1 Artículo de investigación “ Simulation and optimization of a Concentrating Solar Power Plant with Thermal Energy Storage in Sebha city by using system advisor model (SAM)”	13
2.2.2 Artículo de investigación “ Design and Analysis of Parabolic Trough Collector Power Plant in Saudi Arabia”	14
2.2.3 Artículo de investigación “Conventional and Emerging CSP Technologies and Design Modifications: Research Status and Recent Advancements”	14
2.2.4 Artículo de investigación “ Parabolic Trough Solar Collectors: A sustainable and efficient energy source”	15
2.2.5 Artículo de investigación “ Parabolic trough solar thermal power plant Noor I in Morocco”	15
2.3 Antecedentes Nacionales	15
2.3.1 Tesis “Estudio de Pre Factibilidad para la instalación de una planta generadora de electricidad de 120 MW por medio de concentradores solares cilindros parabólicos”	15
2.3.2 Tesis “Análisis económico del impacto del desarrollo de proyectos termosolares en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional al 2030”	16
2.3.3 Tesis “Análisis técnico y económico de la implementación de una planta de energía termosolar de concentración de tipo cilindro parabólico (CSP-PTC) y de su hibridación”	16
2.4 Marco Normativo	17
2.4.1 Ley de Concesiones Eléctricas y su Reglamento.....	17
2.4.2 Ley 28832 Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la generación eléctrica	17
2.4.3 D.L. N° 1002 Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.....	17

2.5 Centrales Termosolares	17
2.5.1 Campo Solar.....	18
2.5.1.1 Captación de la Radiación Solar.	19
2.5.1.2 Múltiplo Solar.	19
2.5.1.3 Geometría Solar.	20
2.5.1.4 Ángulos de operación en el Campo Solar.....	24
2.5.1.5 Eficiencia del campo solar.	25
2.5.2 Bloque de Potencia	26
2.5.2.1 Ciclo Rankine.....	26
2.5.2.2 Divergencias entre el ciclo real e ideal..	28
2.5.2.3 Ciclo Rankine con Recalentamiento Regenerativo.....	28
2.5.2.4 Componentes del Bloque de Potencia.....	31
2.5.3 Sistema de Almacenamiento Térmico	32
2.5.4 Producción de energía eléctrica	33
2.6 Software System Advisor Model (SAM)	33
2.6.1 Características del software SAM.....	34
2.6.2 Ventajas en Centrales Termosolares del software SAM.....	34
2.6.3 Funcionamiento del Software SAM en centrales termosolares de cilindros parabólicos	35
2.6.3.1 Localización y Recurso (Location and Resource).	35
2.6.3.2 Campo Solar (Solar Field).	36
2.6.3.3 Colectores (Collectors).	36
2.6.3.4 Receptores (Receivers).	37
2.6.3.5 Bloque de potencia (Power Block).	38
2.6.3.6 Almacenamiento térmico (Thermal Storage).....	39
2.6.3.7 Parasitarios (Parasitic).	40
2.6.4 Módulo de Resultados del software SAM.....	40
2.6.4.1 Resumen (Summary).	40
2.6.4.2 Tablas de Datos (Data Tables).....	41
2.6.4.3 Profiles (Perfiles).	41
CAPITULO III. RECURSOS DE GENERACION ELECTRICA	42
3.1 Introducción.....	42
3.2 Potencial Geotérmico del Perú	42
3.3 Recurso Solar.....	43
3.3.1 Recurso Solar en una Central Termosolar	44
3.3.2 Recurso Solar en una Central Fotovoltaica.....	44
3.4 Recurso Eólico.....	45

3.5 Recurso de Biomasa	46
3.5.1 Cantidad de biomasa disponible por persona.....	46
3.5.2 Cantidad Total de biomasa.....	46
3.5.3 Evaluación de Viabilidad.....	47
3.6 Selección del recurso de generación eléctrica	47
CAPITULO IV: TECNOLOGIAS DE GENERACION ELECTRICA	48
4.1 Introducción.....	48
4.2 Tecnología Termosolar Colector Cilindro Parabólico (PTC).....	48
4.2.1 Componentes de la tecnología PTC.....	49
4.2.1.1 Reflector PTC.	49
4.2.1.2 Receptores PTC.	49
4.2.1.3 Sistema de Seguimiento PTC.....	49
4.3 Tecnología Termosolar Reflector Lineal de Fresnel (LFR).....	50
4.3.1 Componentes de la tecnología LFR.....	51
4.3.1.1 Reflector Primario.....	51
4.3.1.2 Receptor de tubo de vacío y reflectores secundarios.	51
4.4 Tecnología Termosolar de Torre de Energía Solar (SPT).....	52
4.4.1 Partes de la tecnología de Torre de Energía Solar	53
4.4.1.1 Heliostatos.....	53
4.4.1.2 Sistema de Seguimiento y Control.....	53
4.4.1.3 Receptores Volumétricos.....	54
4.4.1.4 Receptores Tubulares.	56
4.5 Tecnología Fotovoltaica	57
4.5.1 Partes de una tecnología fotovoltaica	57
4.5.1.1 Módulos o paneles solares.	57
4.5.1.2 Inversores.....	57
4.5.1.3 Sistemas de Almacenamiento de Baterías.....	57
4.6 Comparación de las Tecnologías de generación eléctrica	58
CAPITULO V. DISEÑO DE UNA CENTRAL TERMOSOLAR DE CILINDROS PARABOLICOS.....	61
5.1 Introducción.....	61
5.2 Punto de Diseño.....	61
5.3 Temperatura ambiente y Velocidad del Viento	64
5.4 Selección de Componentes	64
5.4.1 Fluido Caloportador	64
5.4.2 Colector.....	65
5.4.3 Receptor	65

5.4.4	Bloque de Potencia	65
5.4.5	Fluido para el Almacenamiento Térmico	66
5.4.6	Consumos Parasitarios	67
5.5	Dimensionamiento del Bloque de Potencia.....	67
5.6	Dimensionamiento del Sistema de Almacenamiento	67
5.6.1	Horas de Almacenamiento	67
5.7	Dimensionamiento y Configuración del Campo Solar.....	68
5.7.1	Geometría y Dinámica de Seguimiento en Colectores Solares	68
5.7.1.1	Sistema de Seguimiento Solar.....	68
5.7.1.2	Orientación.....	68
5.7.1.3	Angulo de Estiba.	68
5.7.1.4	Angulo de Despliegue.	68
5.7.1.5	Inclinación Del Colector.	68
5.7.1.6	Azimut del Colector..	69
5.7.2	Dimensionamiento del Campo Solar	69
5.7.2.1	Múltiplo Solar.	69
5.7.2.2	Espaciado entre Filas.	69
5.7.2.3	Distancia entre colectores en fila	69
5.7.2.4	Estructuración del Campo Solar.....	69
5.7.2.5	Numero de Colectores por Fila.	71
5.8	Características del Generador.....	71
5.9	Resumen del Dimensionamiento de la Central Termosolar	72
5.10	Resultados de la simulación en SAM.....	72
5.10.1	Resultados en el Campo Solar	72
5.10.2	Resultados en el Bloque de Potencia	77
5.10.3	Resultados en el Sistema de Almacenamiento Térmico	79
5.10.4	Resultados de las perdidas en la Central Termosolar	80
5.10.5	Análisis de la producción de energía eléctrica.....	82
5.10.5.1	Producción de Energía Eléctrica sin Sistema Backup..	82
5.10.5.2	Producción de energía eléctrica con sistema Backup..	84
5.10.5.3	Análisis demanda de energía vs producción de energía eléctrica.....	86
5.10.5.4	Validación de Resultados..	86
CONCLUSIONES.....		89
RECOMENDACIONES.....		90
BIBLIOGRAFIA.....		91
RELACION DE ANEXOS.....		95

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del proyecto	1
Figura 2. Zona de influencia del proyecto.....	1
Figura 3. Diagrama Unifilar	2
Figura 4. Esquema de una Central Termosolar	18
Figura 5. Principio de funcionamiento de una central termosolar	18
Figura 6. Tipos de Radiación Solar	19
Figura 7. Distancia Tierra Sol	20
Figura 8. Declinación Solar.....	21
Figura 9. Angulo Cenital y Altitud Solar.....	23
Figura 10. Angulo Azimutal	24
Figura 11. Ciclo Rankine.....	26
Figura 12. Diagrama temperatura - entropía de las divergencias entre un ciclo real e ideal ...	28
Figura 13. Ciclo Rankine con recalentamiento regenerativo	29
Figura 14. Diagrama temperatura - entropía del ciclo Rankine con recalentamiento regenerativo	30
Figura 15. Funcionamiento del almacenamiento térmico	32
Figura 16. Localización y Recurso en SAM	35
Figura 17. Campo Solar en SAM.....	36
Figura 18. Colectores en SAM.....	37
Figura 19. Receptores en SAM	38
Figura 20. Bloque de Potencia en SAM.....	39
Figura 21. Almacenamiento Térmico en SAM	39
Figura 22. Parasitarios en SAM	40
Figura 23. Resumen de Resultados en SAM.....	40
Figura 24. Tabla de datos en SAM.....	41
Figura 25. Tabla de datos en SAM	41
Figura 26. Mapa Geotérmico del Perú	42
Figura 27. Mapa Solar del Perú.....	43
Figura 28. Potencial Energético Solar en la zona de estudio	44
Figura 29. Velocidad del viento anual a 100 m en el Perú	45
Figura 30. Velocidad del viento en Ático	46
Figura 31. Esquema de PTC.....	48

Figura 32. Sistema de seguimiento de un eje giratorio	50
Figura 33. Diferencias entre un lente plano - convexo y un lente Fresnel	50
Figura 34. Disposición de LFR	51
Figura 35. Concepto de campo de espejo elevado	52
Figura 36. Tecnología de Torre de Energía Solar	52
Figura 37. Diseño de un Heliostato	53
Figura 38. Métodos de seguimiento Rotación - Elevación y Acimut - Elevación	54
Figura 39. Efecto de paso de aire en un receptor volumétrico	55
Figura 40. Receptor Volumétrico	55
Figura 41. Receptor Externo Tubular y Receptor de Cavidad	56
Figura 42. Tecnología fotovoltaica.....	57
Figura 43. Potencia Instalada a nivel mundial	59
Figura 44. Radiación Directa Normal en el Equinoccio de Otoño.....	62
Figura 45. Radiación Directa Normal en el Solsticio de Verano.....	62
Figura 46. Radiación Directa Normal en el Equinoccio de Primavera	63
Figura 47. Radiación Directa Normal en el Solsticio de Invierno	63
Figura 48. Temperatura ambiente, Velocidad del viento y Radiación Directa Normal.....	64
Figura 49. Estructuración en "I" de un Campo Solar	70
Figura 50. Estructuración en "H" de un Campo Solar	70
Figura 51. Inclinación del colector.....	73
Figura 52. Azimut del colector	74
Figura 53. Radiación Directa Normal y Radiación Directa Normal con efecto coseno	74
Figura 54. Temperatura en frío del HTF y temperatura en caliente del HTF.....	76
Figura 55. Energía incidente en el campo solar y energía generada por el campo solar.....	77
Figura 56. Potencia térmica de entrada al bloque de potencia y potencia térmica para poner en marcha el ciclo de generación	78
Figura 57. Energía auxiliar consumida por la central en operatividad y fuera de operatividad	79
Figura 58. Carga y descarga de energía térmica en el Sistema de Almacenamiento	80
Figura 59. Potencia consumida por las bombas de la central termosolar	81
Figura 60. Potencia de seguimiento y potencia fija de la central	82
Figura 61. Energía Bruta y Neta.....	83
Figura 62. Energía neta y la Radiación Directa Normal	84
Figura 63. Energía bruta eléctrica por radiación solar y el sistema backup	85
Figura 64. Energía eléctrica neta con el sistema Backup	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de la C.T. de Ático	2
Tabla 2. Características de los grupos generadores de la actual C.T. Ático	3
Tabla 3. Registro de interrupciones del Sistema Eléctrico Aislado de Ático 2023	4
Tabla 4. Matriz de Operacionalización de variables	11
Tabla 5. Matriz de Consistencia	12
Tabla 6. Características del software SAM	34
Tabla 7. Ventajas en Centrales Termosolares del software SAM	34
Tabla 8. Comparativa de las tecnologías termosolares	58
Tabla 9. Estado de la tecnología termosolar a nivel mundial	59
Tabla 10. Eventos Astronómicos	61
Tabla 11. Tipos de fluido térmico	64
Tabla 12. Comparativa de los colectores Solargenix y Eurotrough	65
Tabla 13. Comparativa de los tubos absorbentes Schott PTR 70 y Siemens UVAC	65
Tabla 14. Características del bloque de potencia	66
Tabla 15. Características de las Sales Fundidas HITEC	66
Tabla 16. Configuración de los consumos parasitarios	67
Tabla 17. Resumen del diseño de la central termosolar	72
Tabla 18. Comparativa de la producción de energía eléctrica y la demanda	86
Tabla 19. Comparativa de resultados del artículo de investigación 1 y la presente tesis en producción de energía eléctrica	87
Tabla 20. Comparativa de resultados del artículo de investigación 2 y la presente tesis en producción de energía eléctrica	87

GLOSARIO

- **Albedo:** Correlación entre la energía luminosa incidente en una superficie y su reflejo.
- **Azimut:** Angulo entre el norte geográfico y la dirección de los colectores o paneles.
- **Energía interna:** Relacionado con el movimiento de partículas que componen la materia.
- **Adiabático:** Sistema que no intercambia energía calorífica.
- **Densidad:** Proporción entre la masa y volumen de un cuerpo.
- **Calor específico:** Cantidad de calor por una masa unitaria que requiere una sustancia para incrementar su temperatura un grado Celsius.
- **Temperatura:** Medida de la energía cinética de las partículas de una materia.
- **Viscosidad:** Relación entre la velocidad a la que se mueve un fluido y la fuerza que se aplica para moverlos.
- **Isoentrópico:** Sistema con entropía constante.
- **Aluminizado:** Revestir un material con aluminio.
- **Polímero:** Moléculas grandes compuesta por la unión de pequeñas moléculas conocido como monómeros.
- **Expansión o contracción térmica:** Material que experimenta variación de sus dimensiones al cambiar su temperatura.
- **Sustancia pura:** Es toda sustancia que tiene su composición química homogénea e invariante, ejemplo: el agua, el oxígeno, etc.
- **Corrosión:** Desgaste progresivo de cuerpos metálicos por agentes externos.
- **Presurización:** Mantener la presión atmosférica constante en un recinto, indistintamente de la presión exterior,
- **Sales fundidas:** Un material inorgánico capaz de almacenar grandes cantidades de energía térmica.
- **Concentradores parabólicos compuestos:** Tienen la capacidad de reflejar al receptor todos los rayos que se encuentran dentro del ángulo de aceptación.
- **Cerámica Sic:** Cerámica de carburo de silicio, es una cerámica sin oxido.
- **Cerámica de alúmina:** Es una estructura cristalina que lo hace extremadamente dura
- **Deflector:** Objeto que refleja los rayos de la luz solar.
- **Flujo másico:** Variación de la masa en cuanto al tiempo en un área definida,
- **Angulo de incidencia:** Angulo imaginario entre el plano de un objeto y la línea que se forma por un rayo de luz que cae sobre el objeto
- **Modificador del ángulo de incidencia:** Considera las perdidas geométricas y ópticas de un objeto.

- **Equinoccio:** El sol se coloca exactamente sobre el Ecuador.
- **Solsticio:** Momento en que el sol está en el punto más alto o más bajo en el cielo.
- **El Calor Sensible:** Cambio de la temperatura de un cuerpo u objeto sin cambiar su estado molecular.
- **El Calor Latente:** Cambio del estado molecular de un objeto sin la variación de temperatura.
- **Numero de Reynolds:** Valor adimensional, que indica si el fluido posee un régimen laminar o turbulento.
- **Demanda neta:** Energía final suministrada a la red.
- **Demanda bruta:** Energía generada sin descontar pérdidas.
- **Factor de planta:** Proporción entre la energía realmente generada y la máxima posible en un tiempo determinado.
- **Factor de capacidad:** Promedio de generación respecto a la capacidad instalada a lo largo de su vida útil.
- **Factor de carga:** Relación entre energía producida y potencia instalada en un periodo específico.
- **Consumos Parasitarios:** Energía consumida por equipos internos de una central.
- **Resistencia aerodinámica:** Fuerza que se opone al movimiento del aire sobre un objeto.
- **Backup:** Sistema de respaldo energético.
- **Energía Incidente:** Energía que llega a una superficie desde una fuente externa.
- **Fluido Caloportador:** Líquido o gas que transporta calor en un sistema.
- **Perihelio:** Punto más cercano de un planeta al Sol.
- **Afelio:** Punto más lejano de un planeta al Sol.
- **Emisividad:** Capacidad de un material para emitir radiación térmica.
- **Absortividad:** Capacidad de un material para absorber radiación.
- **Transmitividad:** Capacidad de un material para dejar pasar radiación.
- **Mareomotriz:** Energía generada por las mareas.
- **Concentración geométrica:** Relación entre área de captación y área receptora en sistemas solares.
- **Excitatriz:** Dispositivo que suministra corriente para generar campo magnético en un generador eléctrico.
- **Solidificación:** Cambio de estado de líquido a sólido.
- **Seguridad Energética:** Es la garantía de un suministro continuo y asequible de energía para satisfacer las necesidades de una sociedad.

GLOSARIO DE SIGLAS

GEI: Gases de Efecto Invernadero

CSP: Energía Solar Concentrada

TAP: Turbina de alta presión

TBP: Turbina de baja presión

SEA: Sistema Eléctrico Aislado

CIEMAT: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

PTC: Colectores Cilindro Parabólicos

LFR: Reflectores Lineales de Fresnel

SPT: Torres de energía solar

TES: Sistema de Almacenamiento Térmico

HTF: Fluido caloportador o fluido de transferencia de calor

HSP: Hora Solar Pico

DNI: Irradiación Directa Normal

SAM: Modelo de Asesor del Sistema

LCOE: Costo Nivelado de la Energía

RER: Energías Renovables no Convencionales

CAPITULO I. GENERALIDADES

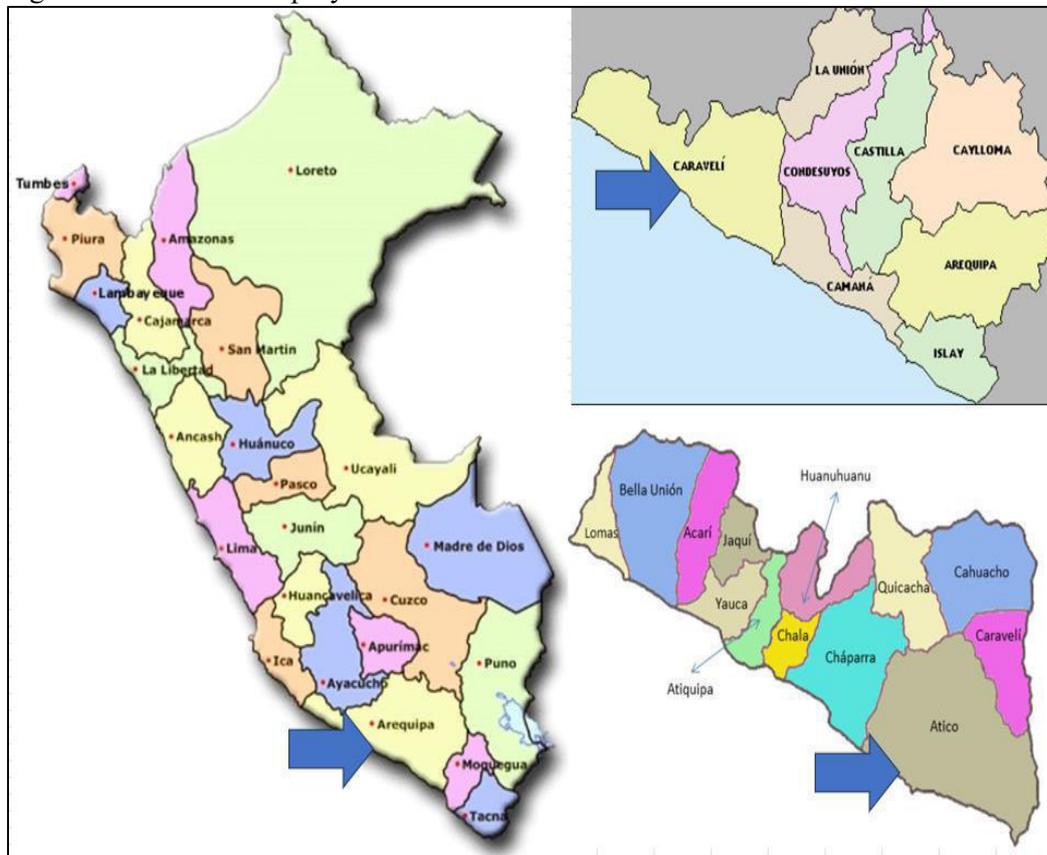
1.1 Descripción General

El Sistema Eléctrico Aislado de Ático opera con una central térmica convencional ineficiente. En este contexto, el presente trabajo de tesis tiene como objetivo proponer una alternativa de generación más sostenible que permitan satisfacer de manera confiable la demanda de energía eléctrica.

1.2 Ubicación Geográfica

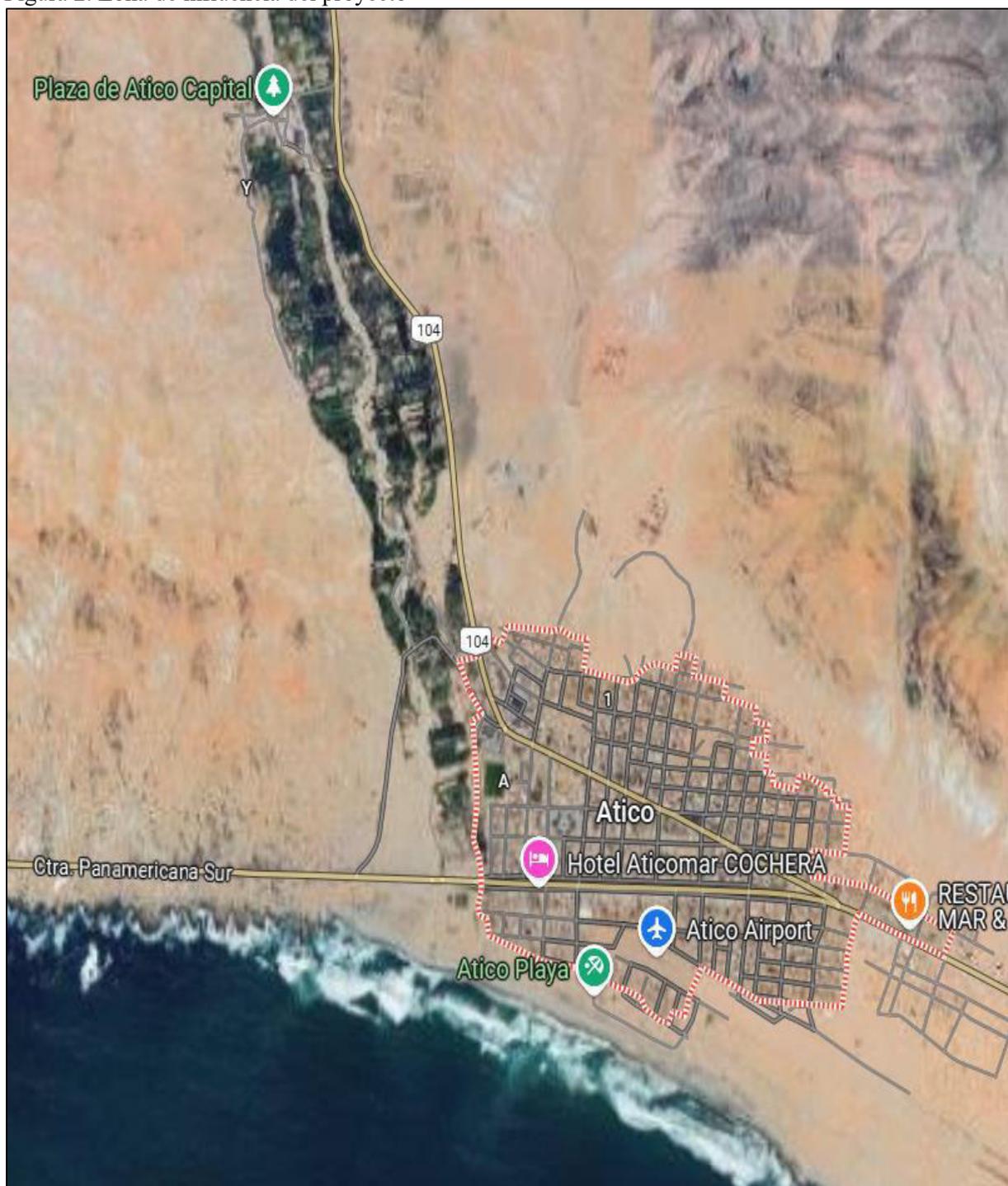
El estudio se hará en el Sistema Eléctrico Aislado de Ático. La ubicación y la zona de influencia del proyecto se observan en la figura 1 y 2 respectivamente.

Figura 1. Ubicación del proyecto



Fuente: Elaboración propia, adaptada con la información de Geo Perú.

Figura 2. Zona de influencia del proyecto



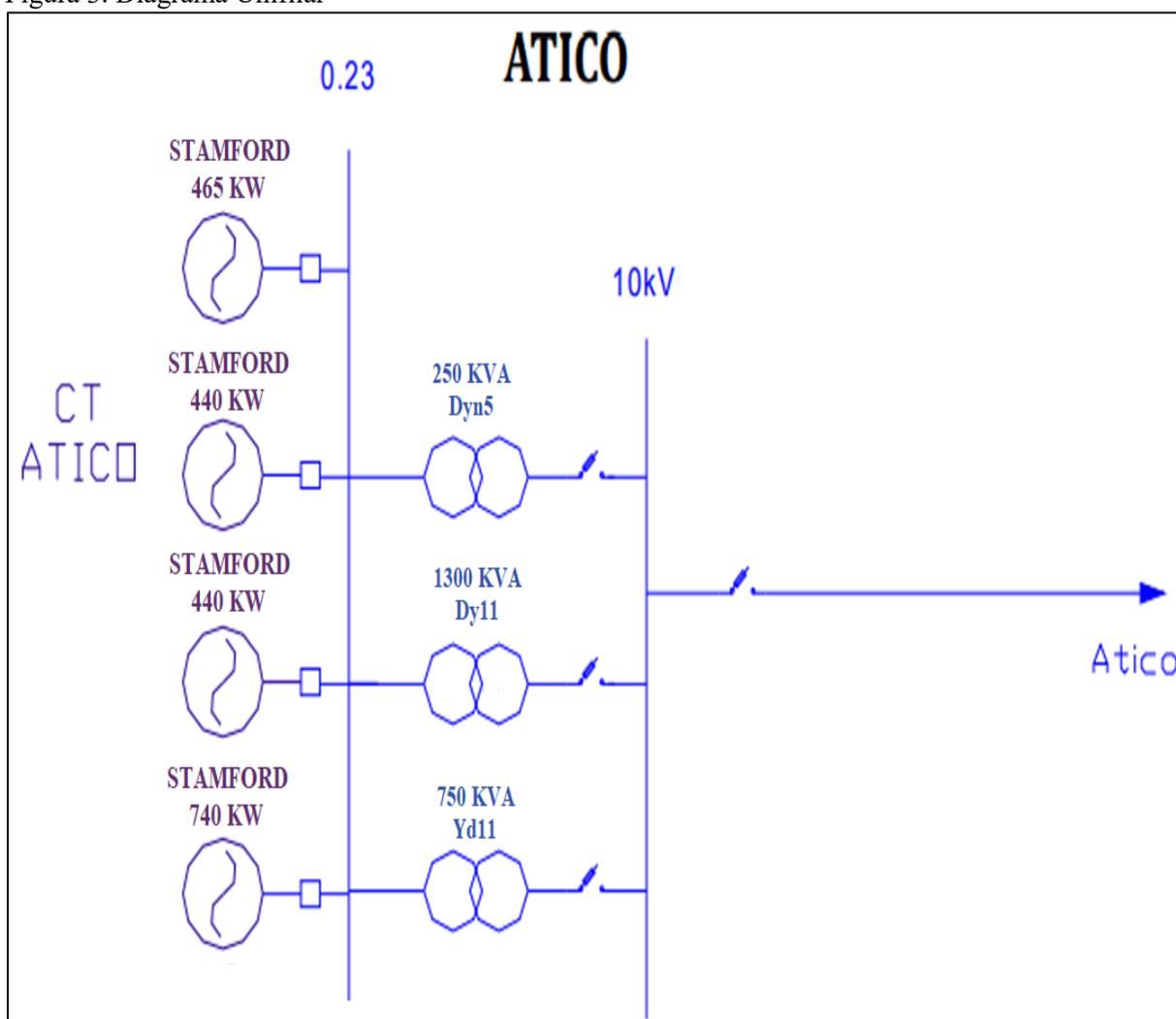
Fuente: Tomado de Google Earth.

1.3 Descripción del Problema

En el Perú, el acceso y suministro energético en zonas aisladas representa un desafío significativo debido a las limitaciones en infraestructura y la alta dependencia de tecnologías convencionales basadas en combustibles fósiles, limitando la sostenibilidad y la seguridad energética de estas zonas aisladas.

El Sistema Eléctrico Aislado de Ático depende actualmente de una central térmica convencional cuyas características se observan en la tabla 1 y las características de sus grupos generadores en la tabla 2, con 02 grupos generadores Modasa que trabajan en forma alternada y en paralelo de acuerdo a las exigencias de la demanda. Por otra parte, posee 01 grupo Longen y 01 Caterpillar de arranque rápido por emergencia. Además, el diagrama unifilar del Sistema Eléctrico de Ático se representa en la figura 3.

Figura 3. Diagrama Unifilar



Fuente: Elaboración propia con información del Plan Ambiental Detallado de la C.T. de Ático (2023) https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5587498/4962953-plan-ambiental-detallado_1.pdf?v=1703223944

Tabla 1. Características de la C.T. de Ático

Nombre	Ático
Tipo de Generación (M, H, T)	T
N° Grupos	4
Potencia Instalada (kW)	2085
Potencia Efectiva (kW)	1315
Año Puesta en Servicio	1975
Estado	O
Sistema Aislado que abastece	SE0136

Fuente: Tomado del Plan Ambiental Detallado de la C.T. de Ático (2023) https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5587498/4962953-plan-ambiental-detallado_1.pdf?v=1703223944

Tabla 2. Características de los grupos generadores de la actual C.T. Ático

Grupos	Código Grupo	G0636	G0295	G0517	G0921
Generador	Marca	STAMFORD	STAMFORD	STAMFORD	STAMFORD
	Modelo	HC.I6134G1	HCI 534C1	HCI 534C 1	HCI 534C 1
	Estado	O	O	O	O
	Potencia instalada(kVA)	581.3	550	550	925
	Potencia Instalada(kW)	465	440	440	740
	Potencia Efectiva(kW)	355	280	280	400
	Tensión(kV)	0,44-0,22	0.44	0.44	0,44
	Corriente(A)	--	--	--	--
	Cos Φ	0,8	0,8	0,8	0,8
	Excitatriz	--	--	--	--
	Tensión (V)	28	43	43	12
	Corriente (A)	3,7	2,5	2,5	2,8
Transformador	Denominación del Trafo	ABB	ASEA BB	BBICTSA	--
	Marca	ABB	ASEA BB	BBICTSA	--
	Modelo	TOAKXB	TOH1600	TOAKXB	--
	Nº Serie	L-20988	6102051	L-12726	--
	Año Puesta Servicio	2015	2015	2016	--
	Tensión Primaria(kV)	10	10	10	--
	Tensión Secundaria(kV)	0,23	0,44	2,4	--
	Potencia(kVA)	250	1300	750	--
	Grupo de Conexión	Dyn5	Dy11	Yd11	--
Refrigeración	ONAN	ONAN	ONAN	--	

Fuente: Tomado del Plan Ambiental Detallado de la C.T. de Ático (2023) https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5587498/4962953-plan-ambiental-detallado_1.pdf?v=1703223944

La necesidad que genera reemplazar la central térmica convencional de Ático están vinculadas a su dependencia del diésel como combustible fósil, cuyo transporte hacia el sistema aislado eleva considerablemente los costos de operación y genera riesgos de abastecimiento. Este factor, sumado al alto nivel de emisiones contaminantes, afecta negativamente la economía local y el medio ambiente, además de contravenir los compromisos nacionales e internacionales

de reducción de gases de efecto invernadero. A ello se les suma las constantes interrupciones que restringen el suministro de energía eléctrica y, por ende, no abastecen la demanda satisfactoriamente, en la tabla 3 se aprecia el Registro de interrupciones del Sistema Eléctrico Aislado de Ático 2023.

Tabla 3. Registro de interrupciones del Sistema Eléctrico Aislado de Ático 2023

Origen De La Falla	Código De La Causa De La Falla	Fecha De Inicio	Hora De Inicio	Fecha Fin	Hora Fin	Suministro Interrumpido	Duración (Horas)
Propio	Avería en el Motor Primo	1/03/2023	04:43	1/03/2023	05:14:00	325	0,52
Falla en Redes	Otros	14/03/2023	06:39	14/03/2023	07:02:00	316	0,38
Terceros	Fallas a tierra en líneas de trans. o distribución	24/03/2023	07:57	24/03/2023	08:06:00	316	0,15
Propio	Otros	18/05/2023	00:33	18/05/2023	00:39:00	352	0,10
Propio	Otros	22/05/2023	09:27	22/05/2023	09:31:00	310	0,07
Terceros	Parada de emergencia	02/06/2023	12:42	02/06/2023	12:48:00	360	0,10
Falla en Redes	Otros	26/06/2023	04:49	26/06/2023	05:00:00	284	0,18
Propio	Otros	15/12/2023	04:41	15/12/2023	04:57:00	1751	0,27

Fuente: Elaboración propia a partir del *Catálogo de Instalaciones de Generación Aislada en Alerta* <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/electricidad/generacion/instalaciones-generacion-aislada-alerta#>

Frente a esta problemática, es necesario proponer una alternativa tecnológica que permita sustituir la generación térmica convencional por opciones más sostenibles, garantizando no solo la autosuficiencia energética del Sistema Eléctrico Aislado de Ático, sino también contribuir a mitigar el impacto ambiental generado por la central térmica. De no abordarse esta situación, el Sistema Eléctrico de Ático podría enfrentar serias consecuencias, afectando la calidad del suministro eléctrico. Además, sectores industriales podrían experimentar pérdidas significativas debido a su dependencia de soluciones costosas e ineficientes, como los grupos electrógenos.

1.4 Formulación del Problema

1.4.1 Problema Principal

- ¿Qué tecnología de generación eléctrica permitirá satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático?

1.4.2 Problemas Específicos

- ¿Qué recurso de generación eléctrica es el más adecuado para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático?
- ¿Cuál es la tecnología de generación eléctrica más adecuada, de acuerdo con el recurso con mayor potencial, para satisfacer la demanda en el Sistema Eléctrico Aislado de Ático?
- ¿Qué características debe tener la tecnología de generación eléctrica seleccionada para satisfacer la demanda en el Sistema Eléctrico Aislado de Ático?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Proponer el diseño de una central eléctrica para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático

1.5.2 Objetivos Específicos

- Identificar los recursos de generación eléctrica, a fin de seleccionar la más adecuada, para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático
- Identificar las tecnologías de generación eléctrica asociadas al recurso con mayor potencial, a fin de seleccionar la más adecuada para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático
- Diseñar la central eléctrica que utilice la tecnología seleccionada para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático

1.6 Formulación de Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General

Para poder diseñar primero debes conocer todas las posibilidades tecnológicas que hay en el mercado, aprender las múltiples configuraciones de proyectos y soluciones que puedes crear y, sobre todo, entender muy bien tanto las características físicas, anímicas y técnicas del proyecto, como las del cliente. (Luis Candela, 2020).

Bajo esa afirmación se plantea que:

- Analizando los Recursos de Generación Eléctrica Renovables No Convencionales y comparando las tecnologías de generación eléctrica solar, se simulará el diseño de

una central termosolar de cilindros parabólicos en el software SAM, que permitirá satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático

1.6.2 Hipótesis Específicas

Las tecnologías solares producen electricidad sin emitir gases de efecto invernadero durante su funcionamiento, lo que reduce el impacto ambiental. La naturaleza renovable y abundante de la energía solar minimiza la preocupación por la escasez y el agotamiento de los recursos (Asim Ahmad et al., 2023).

Bajo esas afirmaciones se plantea que:

- Analizando los recursos de generación eléctrica renovables no convencionales se determinará que el recurso solar es el más adecuado para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático.

Una de las principales ventajas de la energía solar de colectores cilindro parabólicos es su escalabilidad. Se pueden utilizar para generar electricidad a pequeña escala, como por ejemplo para una casa o negocio, o a gran escala, como para una central eléctrica. (Asim Ahmad et al., 2023).

Los colectores cilindro parabólicos es el sistema solar más madura de las tecnologías de concentración y se utiliza en la mayoría de las operaciones centrales eléctricas (Reyhaneh et al., 2020).

Bajo esas afirmaciones se plantea que:

- Comparando las tecnologías de generación eléctrica que usan el recurso solar y considerando criterios como madurez de la tecnología, eficiencia y escalabilidad, definidos mediante el estudio de revistas científicas, que la tecnología termosolar de cilindros parabólicos es el más adecuado para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático.

SAM realiza un análisis económico y energético en profundidad de la planta propuesta para los parámetros de diseño definidos por el usuario y los costos de instalación y operación. (Asiri, IM, AL-Yahya, S.,2021).

Bajo esa afirmación se plantea que:

- Simulando una central termosolar de cilindros parabólicos en el software SAM, tras la adecuada selección y dimensionamiento de sus componentes, permitirá satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático.

1.7 Justificación del Problema

1.7.1 Justificación Técnica

La central térmica convencional de Ático presenta una alta tasa de fallas, lo que limita su capacidad para abastecer de manera continua la demanda eléctrica. El uso de motores diésel implica un rendimiento inferior frente a tecnologías renovables modernas y genera mayores pérdidas de energía eléctrica. La disponibilidad del recurso solar en la zona ofrece una oportunidad para implementar soluciones de generación más eficientes y confiables. Sustituir la tecnología actual permitiría mejorar la estabilidad del sistema y garantizar un suministro seguro a largo plazo.

1.7.2 Justificación Económica

El costo de generación con diésel en Ático es elevado debido al transporte del combustible y a los gastos de mantenimiento asociados a la central térmica. Estos costos se trasladan a la tarifa eléctrica, afectando a los usuarios. La implementación de tecnologías renovables reduciría los costos operativos al disminuir la dependencia de combustibles fósiles y aprovechar recursos renovables como la radiación solar.

1.7.3 Justificación Social

La implementación de una central eléctrica tiene una relevancia social porque al diversificar las fuentes de energía primaria en el Sistema Eléctrico Aislado de Ático, mejorará la calidad de suministro y producto; y los usuarios podrá gozar de una mejor calidad de energía.

1.7.4 Justificación ambiental

El Perú es uno de los países que suscribió el acuerdo de París el 2015 sobre el cambio climático consecuencia por el uso de combustibles fósiles en la generación eléctrica. Por esa razón, es necesario explorar nuevas formas de generación eléctrica a partir de energías renovables amigables con el medio ambiente.

1.8 Metodología de la Investigación

1.8.1 Enfoque de investigación

Investigación Cuantitativa, según Hernández et al. (2010), “Es secuencial, probatorio y sistemático, porque, se recolecta datos numéricos, para demostrar nuestras hipótesis y establecer comportamientos ” (p.32).

1.8.2 Alcance de investigación

La investigación es Descriptivo Correlacional porque describe las variables y la relación entre ellas.

Descriptivo, según Hernández et al. (2010), porque se especifican las propiedades y se definen las variables de estudio. Con el objetivo de conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta del proceso metodológico de la propuesta de diseño de una central eléctrica.

Correlacional, según Hernández et al. (2010), porque existe un grado de relación entre la propuesta de diseño de una central eléctrica y la demanda de energía eléctrica, que son nuestras variables de estudio.

1.8.3 Diseño de investigación

Según Hernández et al. (2010), No Experimental, porque no existe manipulación de variables y Transversal debido a que se mide una sola vez las variables. Comprende un conjunto de procedimientos que incluyen: identificar los recursos de generación eléctrica, identificar los distintos tipos de tecnologías de generación eléctrica, y finalmente, el diseño de la central propuesta.

1.8.4 Nivel de investigación

Según Hernández et al. (2010), Aplicada, porque usa conocimientos teóricos para resolver problemas prácticos proponiendo el diseño de una central eléctrica para satisfacer la demanda real del Sistema Eléctrico Aislado de Ático.

1.9 Variables e Indicadores

1.9.1 Variable dependiente

Demanda de energía eléctrica, cuyas dimensiones son:

- Nivel de satisfacción de la demanda

1.9.2 Variable independiente

Propuesta de diseño de una central eléctrica, cuyas dimensiones son:

- Recurso Energético
- Tecnologías de generación eléctrica
- Diseño técnico de la central propuesta

1.10 Alcances y Limitaciones

1.10.1 Alcances

- Se identifica los recursos de generación eléctrica renovables no convencionales.
- Se identifica las tecnologías de generación eléctrica asociados al recurso con mayor potencial.
- La propuesta de diseño es un estudio íntegramente técnico, por lo tanto, no se abarcará la parte operativa ni económica.
- La propuesta de diseño se enfoca en satisfacer la demanda de energía eléctrica considerando el escenario del Sistema Eléctrico Aislado de Ático en el año 2023. Por lo tanto, no se incluyen proyecciones de demanda ni el cálculo de factores de carga o pérdidas para escenarios futuros.

1.10.2 Limitaciones

- Existe una limitación por la experiencia reducida en este tipo de estudios.
- La ubicación del proyecto es una limitación, ya que se encuentra en una zona alejada del Cusco, y, por consiguiente, se complica en la recolección de datos.

1.11 Población y Muestra

1.11.1 Población

- Sistemas de Generación Eléctrica, entendidos como las infraestructuras destinadas a la generación de la energía eléctrica en una zona geográfica. Se considera esta población por su relevancia en el diseño de una central eléctrica integrada a un sistema existente.

1.11.2 Muestra

- Sistema Aislado de Generación Eléctrica de Ático, la elección de la muestra es no probabilística dado que Ático presenta características técnicas y geográficas que justifican su estudio. Señalan Hernández et. al. (2010) que la muestra no probabilística o dirigida es un “subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación” (p. 176).

1.12 Recolección y Procesamiento de Datos

1.12.1 Técnica de recolección de datos

Fuentes Secundarias, se busca información en libros, revistas científicas, datos técnicos, softwares especializados, entre otros.

1.13 Procedimiento para la recolección de datos

Primeramente, para identificar los recursos de generación eléctrica en Ático, se utilizó el software de potencial solar SolarGis Prospect, potencial eólico Windy y documentos técnicos. Por otra parte, para identificar las tecnologías de generación eléctrica se estudió artículos científicos. Posteriormente, para el diseño de la central eléctrica propuesta, se tomaron datos relevantes del sitio de estudio con el apoyo del software SAM.

1.14 Procesamiento de Datos

El procesamiento de datos para identificar los recursos de generación eléctrica se centró en la interpretación de información obtenidos mediante los softwares especializados y documentos técnicos. Posteriormente, el procesamiento de datos se realizó mediante la revisión de artículos científicos especializados, a partir de los cuales se sintetizó información técnica sobre el funcionamiento, eficiencia y la aplicación de las tecnologías de generación eléctrica. Esta información permitió comparar alternativas y sustentar la selección de la opción más adecuada para el Sistema eléctrico Aislado de Ático. Finalmente, en el diseño de la central eléctrica propuesta, se procesaron los resultados del software SAM en tablas y gráficos.

1.15 Matriz de Operacionalización de Variables

Tabla 4. Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Independiente: Propuesta de diseño de una central eléctrica	Es el conjunto estructurado de decisiones técnicas y metodológicas que integran el análisis de los recursos energéticos, la comparación de tecnologías de generación eléctrica y la formulación preliminar de los parámetros técnicos de una central eléctrica. Esta propuesta se elabora con base en criterios de viabilidad, eficiencia y adaptación al contexto, y tiene como finalidad plantear una solución energética evaluable y con potencial de implementación.	Es el proceso que comprende tres etapas secuenciales: (1) el análisis del potencial de recursos de generación eléctrica en una zona determinada, (2) la comparación de tecnologías de generación eléctrica, y (3) la elaboración de modelos técnicos y simulaciones que determinan las características básicas de las partes de una central eléctrica, sin ser un diseño finalizado, es decir, es una propuesta técnica preliminar.	Recurso Energético	Potencial energético
			Tecnologías de generación eléctrica	Eficiencia Escalabilidad Madurez tecnológica
Variable dependiente: Demanda de energía eléctrica	Es la cantidad de energía eléctrica requerida por los usuarios en un periodo determinado.	Se mide a partir del registro de consumo de energía eléctrica.	Diseño técnico de la central propuesta	Energía anual generada
				Satisface No satisface

Fuente: Elaboración propia

1.16 Matriz de Consistencia

Tabla 5. Matriz de Consistencia

"PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA CENTRAL TERMOSOLAR PARA SATISFACER LA DEMANDA DEL SISTEMA ELECTRICO AISLADO DE ATICO – AREQUIPA 2023"					
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGIA	
¿Qué tecnología de generación eléctrica permitirá satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático?	Proponer el diseño de una central eléctrica para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático	Analizando los Recursos de Generación Eléctrica Renovables No Convencionales y comparando las tecnologías de generación eléctrica solar, se simulará el diseño de una central termosolar de cilindros parabólicos en el software SAM, que permitirá satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático	VI (VARIABLE INDEPENDIENTE) Propuesta de diseño de una central eléctrica Cuyas dimensiones son:	✓	NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Aplicada
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS		✓	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN: Cuantitativa
¿Qué recurso de generación eléctrica es el más adecuado para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático?	Identificar los recursos de generación eléctrica, a fin de seleccionar la más adecuada, para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático	Analizando los recursos de generación eléctrica renovables no convencionales se determinará que el recurso solar es el más adecuado para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático	<ul style="list-style-type: none"> Recurso Energético Tecnologías de generación eléctrica 	✓	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN: Descriptivo Correlacional
¿Cuál es la tecnología de generación eléctrica más adecuada, de acuerdo con el recurso con mayor potencial, para satisfacer la demanda en el Sistema Eléctrico Aislado de Ático?	Identificar las tecnologías de generación eléctrica asociadas al recurso con mayor potencial, a fin de seleccionar la más adecuada para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático	Comparando las tecnologías de generación eléctrica que usan el recurso solar y considerando criterios como madurez de la tecnología, eficiencia y escalabilidad, definidos mediante el estudio de revistas científicas, que la tecnología termosolar de cilindros parabólicos es el más adecuado para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático	<ul style="list-style-type: none"> Diseño técnico de la central propuesta 	✓	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: No experimental del tipo transversal
¿Qué características debe tener la tecnología de generación eléctrica seleccionada para satisfacer la demanda en el Sistema Eléctrico Aislado de Ático?	Diseñar la central eléctrica que utilice la tecnología seleccionada para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático	Simulando una central termosolar de cilindros parabólicos en el software SAM, tras la adecuada selección y dimensionamiento de sus componentes, permitirá satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático	VD (VARIABLE DEPENDIENTE) Demanda de energía eléctrica Cuyas dimensiones son:	✓	POBLACIÓN: Sistemas de Generación Eléctrica
			<ul style="list-style-type: none"> Nivel de satisfacción de la demanda 	✓	MUESTRA: Sistema Aislado de Generación Eléctrica de Ático

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1 Introducción

Para comprender la presente investigación aplicada, es fundamental entender los conceptos asociados a la presente tesis; para esta finalidad, el capítulo presenta los antecedentes, el marco normativo, el concepto de centrales termosolares y del software SAM.

2.2 Antecedentes Internacionales

2.2.1 Artículo de investigación “ Simulation and optimization of a Concentrating Solar Power Plant with Thermal Energy Storage in Sebha city by using system advisor model (SAM)”

En la Universidad de Sebha Libia, Alamen, Hossin, y Salem (2021), en su artículo de investigación presento como problemática la dependencia alta de Libia de combustibles fósiles para la generación eléctrica y la necesidad de alternativas sostenibles que impulsen la búsqueda de soluciones eficientes como una planta solar térmica que requiere determinar los parámetros adecuados que permitan reducir costos y mejorar la eficiencia en regiones con alta radiación solar, en ese entender; el objetivo principal, evaluar y optimizar el diseño y rendimiento térmico de una planta solar térmica de colectores de canal parabólico con almacenamiento de energía en Sebha, Libia, con el fin de reducir el costo de generación eléctrica y maximizar la producción anual de energía; concluye que el diseño de una planta termosolar de 100 MWe con colectores cilíndrico-parabólicos y almacenamiento térmico en Sebha, Libia, utilizando el software SAM. Inicialmente, con un DNI promedio anual superior a 6 kWh/m²/día, mostró un rendimiento de 406,26 GWh/año, un LCOE de 13,48 ¢/kWh y un factor de capacidad del 47,9 %. La optimización de los parámetros de almacenamiento térmico (7 y 12 horas de carga solar múltiple y completa) permitió incrementar la generación a 727,94 GWh/año y reducir el LCOE a 7,67 ¢/kWh. demostrando la viabilidad del diseño. El presente artículo contribuye a mi trabajo de tesis al respaldar el uso del software SAM para el diseño de centrales termosolares, así como los resultados de producción de energía eléctrica, los cuales serán validados en el capítulo V.

2.2.2 Artículo de investigación “ Design and Analysis of Parabolic Trough Collector Power Plant in Saudi Arabia”

En la Universidad de Qassim Asiri y Al-Yahya (2020), en su artículo de investigación presentaron la problemática de la creciente demanda de electricidad debido a la industrialización masiva y al rápido crecimiento de la población y que los métodos convencionales de generación de electricidad con la ayuda de combustibles fósiles generan emisiones desastrosas que tienen un efecto devastador en la salud humana a largo plazo. Por lo tanto, una solución a estos problemas son las energías renovables, en ese entender; el objetivo principal, es el diseño y el análisis detallado del rendimiento energético de una planta de energía solar concentrada (CSP) basada en colectores cilindroparabólicos; se concluye, que la planta CSP propuesta de 100 MW , con un DNI promedio de 6.38 kWh/m²/dia en el sitio de estudio genera 7,927,623 MWh de energía eléctrica durante la vida útil del proyecto de 25 años. El presente artículo contribuye a mi trabajo de tesis al respaldar el uso del software SAM para el diseño de centrales termosolares, así como los resultados de producción de energía eléctrica, los cuales serán validados en el capítulo V.

2.2.3 Artículo de investigación “Conventional and Emerging CSP Technologies and Design Modifications: Research Status and Recent Advancements”

En la Universidad Islámica de tecnología, Bangladesh (2023), en su artículo de investigación se presentó la problemática que, a pesar del gran potencial de la CSP, su eficiencia y viabilidad dependen de mejoras en el diseño de colectores y almacenamiento térmico. Es necesario optimizar la transferencia de energía, reducir costos y aumentar la competitividad frente a otras fuentes renovables para su implementación a escala comercial. En ese entender, el objetivo principal, es Analizar y comparar las tecnologías CSP más utilizadas, evaluando sus modificaciones en diseño para mejorar el rendimiento térmico, hidráulico y óptico, e identificar estrategias que permitan optimizar su aplicación en la generación de energía sostenible. Concluyendo que, En los PTC, la reducción del ancho de apertura y la adición de aletas y escudos reflectantes aumentan la eficiencia, mientras que el almacenamiento térmico (TES) proporciona fiabilidad. En los LFR, la inclinación de los reflectores y los sistemas de seguimiento de dos ejes mejoran la eficiencia. Y en los SPT, Los receptores de partículas han demostrado ser efectivos para aplicaciones térmicas superiores a 1000°C. El presente artículo contribuye a mi trabajo de tesis en la descripción y evaluación de las tecnologías termosolares desarrolladas en el capítulo IV.

2.2.4 Artículo de investigación “ Parabolic Trough Solar Collectors: A sustainable and efficient energy source”

En la universidad Usha Martin, India (2023), en su artículo de investigación presentaron como problemática, La creciente dependencia de los combustibles fósiles, su costo elevado y su impacto ambiental que generan la necesidad de buscar alternativas sostenibles. Como los colectores solares de canal parabólico que representan una opción prometedora, en ese entender el objetivo, es Evaluar las ventajas y desafíos de los colectores solares de canal parabólico en la generación de electricidad y proponer estrategias para mejorar su eficiencia y viabilidad económica. Concluyendo que, los colectores de canal parabólico (PTC) representan una tecnología clave en la energía renovable debido a su alta eficiencia y bajo impacto ambiental. Sin embargo, enfrentan desafíos como costos iniciales elevados y mantenimiento. El presente artículo contribuye a mi trabajo de tesis en la descripción y evaluación de las tecnologías termosolares desarrolladas en el capítulo IV.

2.2.5 Artículo de investigación “ Parabolic trough solar thermal power plant Noor I in Morocco”

En la universidad de Pau y Pays de l'Adour, Francia (2019) en su artículo investigación se presentó como problemática el rápido aumento de la demanda energética en Marruecos y la necesidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y la necesidad de soluciones sostenibles que garanticen un suministro confiable de electricidad. En ese entender, el objetivo de la investigación es Analizar la central termosolar Noor 1 en términos de su diseño, rendimiento y competitividad frente a otras plantas cilindro-parabólicas en el mundo, evaluando su impacto en la transición energética de Marruecos. Concluyendo que, la central Noor I, operativa desde 2016 en Ouarzazate, es la primera en inyectar electricidad a la red marroquí, con una capacidad de 160 MW y un rendimiento anual específico de 3250 MWh/MW, superior al de la mayoría de las centrales termosolares de cilindros parabólicos del mundo, salvo Sudáfrica. El presente artículo contribuye a mi trabajo de tesis en la descripción y evaluación de las tecnologías termosolares desarrolladas en el capítulo IV.

2.3 Antecedentes Nacionales

2.3.1 Tesis “Estudio de Pre Factibilidad para la instalación de una planta generadora de electricidad de 120 MW por medio de concentradores solares cilindros parabólicos”

En la Universidad de Lima, Gomez de la Torre Gastello A. (2019), en su tesis presento como problemática que el uso intensivo de combustibles fósiles genera contaminación y cambio

climático, y la tecnología fotovoltaica no garantiza suministro continuo. Por ello, se requiere una alternativa renovable más eficiente, como la termosolar (CSP), que permita generar energía limpia y estable. Por tanto, el objetivo principal es proponer un proyecto viable de generación eléctrica por medio de concentradores solares cilíndrico parabólicos; se concluye que el proyecto termosolar CSP es técnicamente y socialmente viable en el sur del Perú por su alta radiación solar. Aunque económicamente no es rentable por sí solo, es financieramente factible con apoyo estatal y condiciones favorables. Su almacenamiento térmico lo hace superior a la fotovoltaica, permitiendo generación continua y limpia para miles de hogares. El presente antecedente contribuye en mi trabajo de tesis en el dimensionamiento de la central termosolares de cilindros parabólicos desarrollado en el capítulo V.

2.3.2 Tesis “Análisis económico del impacto del desarrollo de proyectos termosolares en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional al 2030”

En la universidad técnica y de ingeniería, Romero Cavero Racso Patricio (2021), en su tesis presento como problemática, en el SEIN, la reducción de generación eficiente a partir del 2022 que ha provocado un aumento del costo marginal de la energía, con riesgo de crisis de precios y posible desabastecimiento hacia 2028. Ante esta situación, es necesario evaluar fuentes alternativas como la energía termosolar para garantizar el suministro eléctrico a largo plazo. En ese entender; el objetivo principal, Analizar económicamente el impacto del desarrollo de proyectos termosolares en el SEIN para el periodo 2020-2030; se concluye, que la demanda eléctrica crecerá 5% anual hasta 2030, mientras que la oferta se estanca, generando una crisis de precios desde 2022. La tecnología termosolar, especialmente la de torre central, es viable técnicamente en el sur del Perú, pero su alto costo limita su implementación sin subsidios. Se recomienda impulsar subastas RER para fomentar su desarrollo y mitigar la crisis energética. El presente antecedente contribuye en mi trabajo de tesis en la descripción y comparación de las tecnologías termosolares desarrolladas en el capítulo IV.

2.3.3 Tesis “Análisis técnico y económico de la implementación de una planta de energía termosolar de concentración de tipo cilindro parabólico (CSP-PTC) y de su hibridación”

En la universidad técnica y de ingeniería, Carrera Parraga Vladimir Said (2019), en su tesis presento como problemática, que la matriz energética en el SEIN es vulnerable por su alta dependencia del gas natural y el recurso hídrico, lo que exige diversificar la generación mediante fuentes como la termosolar ante posibles escenarios de escasez y desabastecimiento. En ese entender, el objetivo principal, es analizar técnica y económicamente la implementación de una planta de energía termosolar de concentración de tipo cilindro parabólico (CSP-PTC) y

de su hibridación para demostrar la factibilidad de esta tecnología como alternativa a las propuestas presentes en las subastas de energías renovables; se concluye, que el lugar seleccionado, en el distrito de Moquegua es técnicamente adecuado para una planta termosolar por su alta radiación y buena accesibilidad. Sin embargo, el alto costo del LCOE (140 US\$/MWh) limita su competitividad frente a la fotovoltaica. La hibridación mejora los costos (68 US\$/MWh), pero aún requiere incentivos estatales y apoyo regulatorio para ser viable. La tecnología termosolar debe incluirse en los planes energéticos nacionales por sus ventajas de almacenamiento y estabilidad en horas punta. El presente antecedente contribuye en mi trabajo de tesis en el dimensionamiento de mi central termosolar de cilindros parabólicos desarrollados en el capítulo V.

2.4 Marco Normativo

2.4.1 Ley de Concesiones Eléctricas y su Reglamento

La presente ley indica la prioridad del uso de Energías Renovables No Convencionales (RER), como la termosolar, para reducir la dependencia de combustibles fósiles, regula la instalación y operación de todo tipo de centrales eléctricas en el Perú.

2.4.2 Ley 28832 Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la generación eléctrica

Ley que tiene como objetivo promover una matriz energética más diversificada y fomentar la competencia en el sector eléctrico.

2.4.3 D.L. N° 1002 Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables

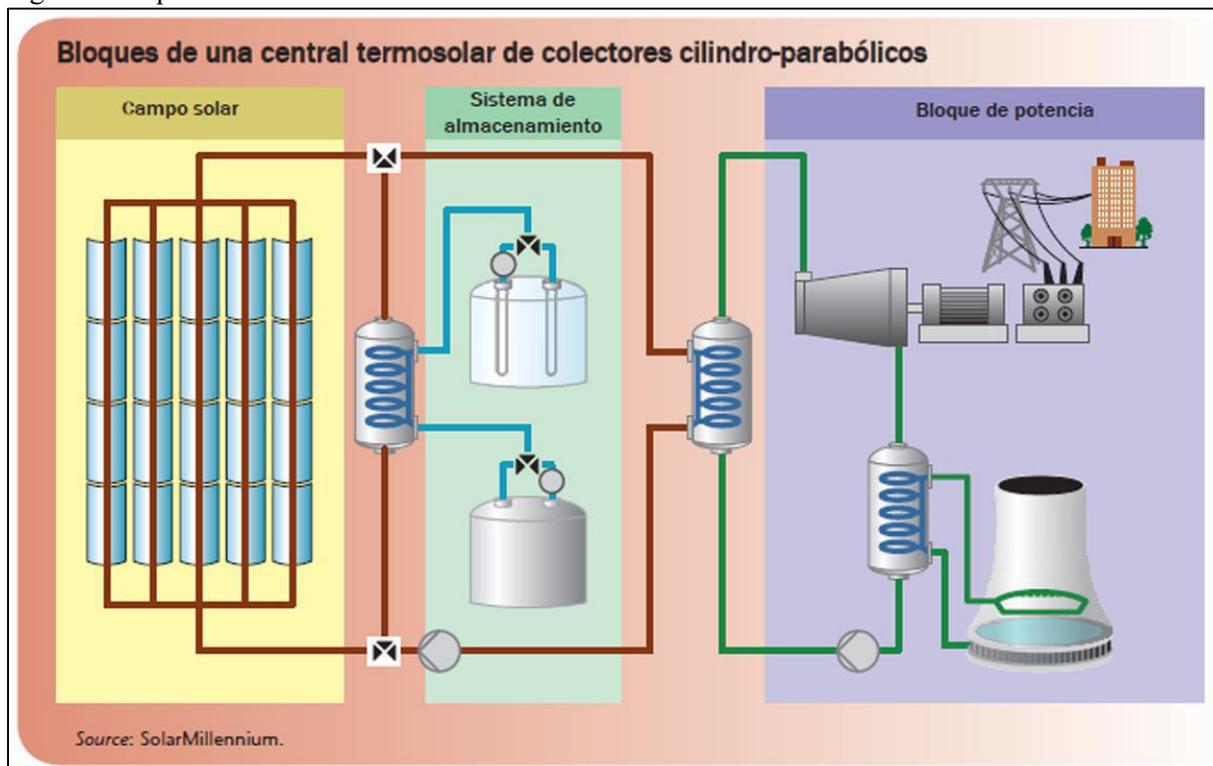
Decreto ley nacional que promueve el uso de Fuentes Renovables no Convencionales, incluyendo la energía termosolar.

2.5 Centrales Termosolares

Las tecnologías termosolares, utilizan una serie de espejos para concentrar la energía solar en un receptor que transporta un fluido que gana calor para que produzca vapor e impulse una turbina que genere la energía eléctrica (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2012). El principio de funcionamiento se observa en la figura 5. También se les llama energía termosolar de concentración (CSP) y tienen la capacidad de almacenar energía en forma de calor mediante el calentamiento de un fluido caloportador, lo que permite generar electricidad incluso cuando no hay sol, mejorando la continuidad del suministro. Este principio se aplica de diversas maneras. Para ello, existe en el mercado tres tipos de tecnología termosolar: Centrales

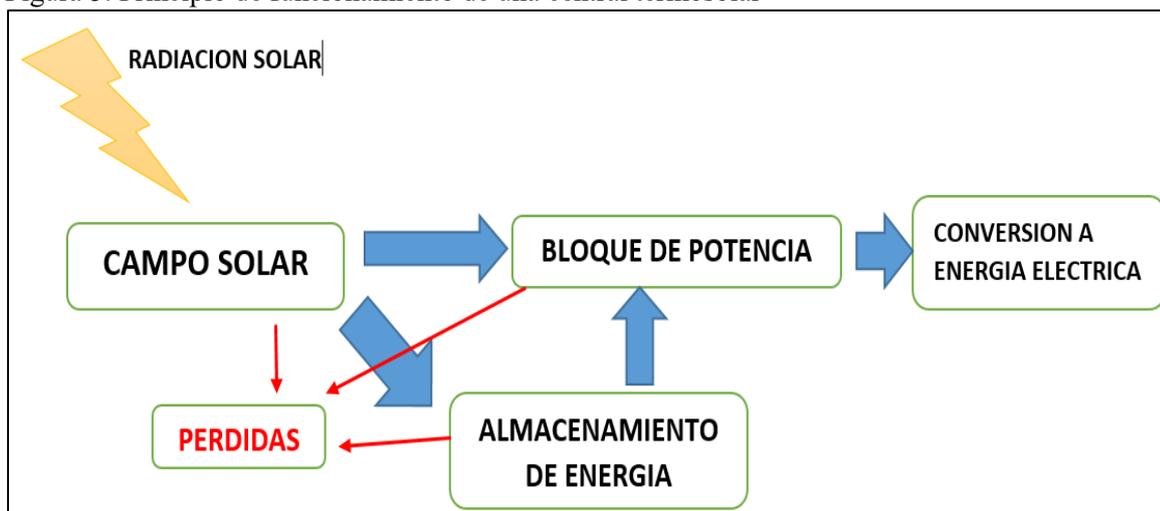
de Torre Central, Centrales de colectores Cilindro Parabólicos y Centrales de colectores Lineales Fresnel. La figura 4 representa las partes de una central termosolar: el campo solar, el bloque de potencia y el sistema de almacenamiento.

Figura 4. Esquema de una Central Termosolar



Fuente: Tomado de Arrieta E., (2020) Diseño y Análisis básico de una central solar térmica de canales cilindro-parabólicos de 200 MW en el Norte de África

Figura 5. Principio de funcionamiento de una central termosolar



Fuente: Elaboración propia

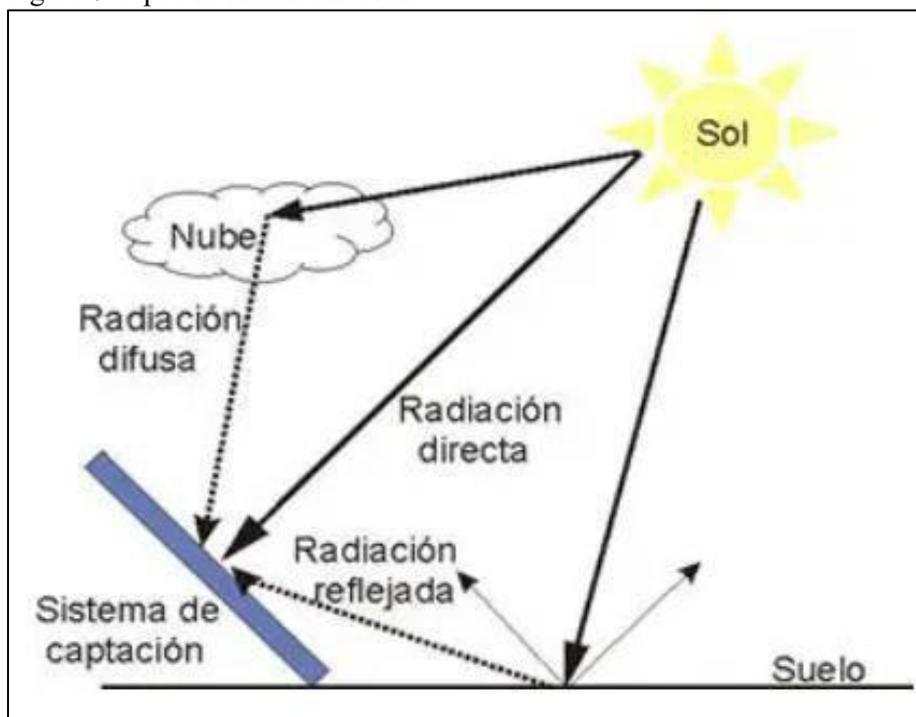
2.5.1 Campo Solar

Donde se absorbe la radiación solar para calentar el fluido caloportador (HTF) que tiene como fin transferir la energía solar captada al bloque de potencia. Es aquí donde se diferencian las distintas tecnologías de captación solar como: los colectores Cilindros Parabólicos, el

concentrador lineal de Fresnel y el concentrador de Torre Central. En el Capítulo IV se abordará a más profundidad las distintas tecnologías.

2.5.1.1 Captación de la Radiación Solar. La captación solar en el campo solar es a través de únicamente la Radiación Directa Normal, exceptuándose la radiación difusa y reflejada (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2012). Véase figura 6.

Figura 6. Tipos de Radiación Solar



Fuente. Tomado de Radiación Directa, Difusa y Reflejada de Hernández (2014)

2.5.1.2 Múltiplo Solar. Magnitud adimensional, resultado del cociente entre la potencia del campo solar y la potencia que demanda el bloque de potencia. Si el MS es mayor a 1, la potencia térmica que genera el campo solar es mayor a la demanda por el bloque de potencia, por tanto, el excedente es destinado a un sistema de almacenamiento (Duffie y Beckman, 2011).

$$MS = \frac{P_R}{P_D} \quad (1)$$

Donde:

MS: Múltiplo Solar

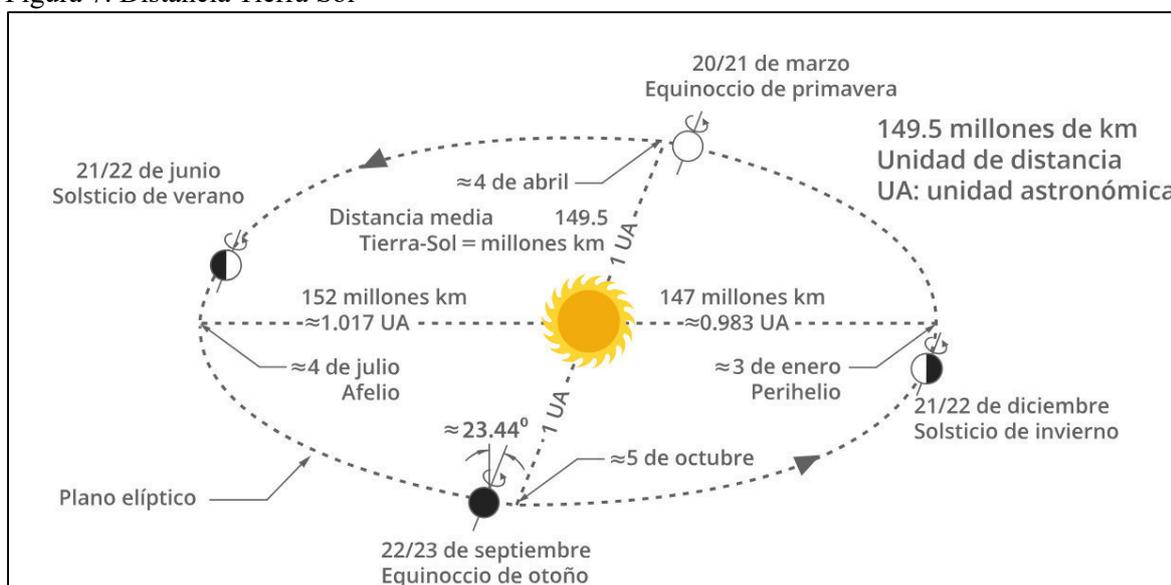
P_R : Potencia térmica útil de diseño (w)

P_D : Potencia térmica del ciclo (w)

2.5.1.3 Geometría Solar. Para entender la captación de energía solar en el campo solar, es necesario conocer conceptos de geometría solar.

- **Distancia tierra sol:** La distancia Tierra-Sol varía a lo largo del año debido a la órbita elíptica de la Tierra como se observa en la figura 7. Es menor en el perihelio (alrededor del 3 de enero) y mayor en el afelio (alrededor del 4 de julio). Durante los equinoccios (marzo y septiembre), el día y la noche tienen igual duración, y el Sol está alineado con el ecuador. En los solsticios (junio y diciembre), la inclinación de la Tierra hace que uno de los hemisferios reciba más irradiación, marcando el día más largo o más corto del año (Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.).

Figura 7. Distancia Tierra Sol



Fuente. Tomado de Geometría Solar para Arquitectos de la Universidad Nacional Autónoma de México

- **Declinación Solar.** La declinación solar es el ángulo entre los rayos solares y el plano del ecuador terrestre como se observa en la figura 8. Varía a lo largo del año debido a la inclinación del eje terrestre y determina la posición del Sol en el cielo. Para determinar la declinación solar, se emplea la siguiente fórmula:

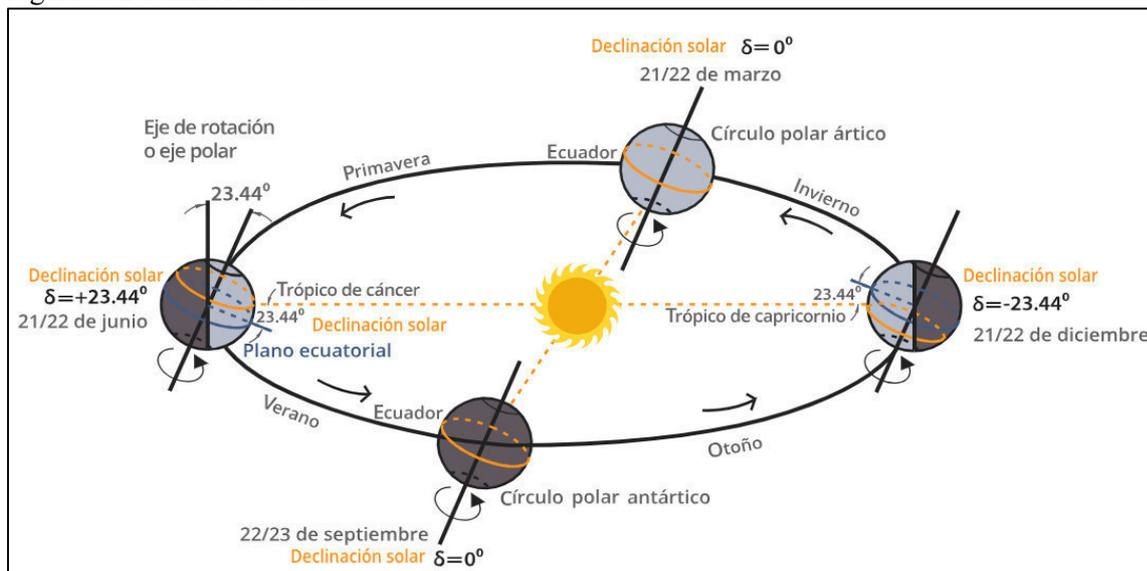
$$\delta = \sin^{-1} \left[0.4 * \sin \frac{360}{365} * (d_n - 82) \right] \quad (2)$$

Donde:

δ : Declinación solar

d_n : Numero del día del año

Figura 8. Declinación Solar



Fuente: Tomado de Geometría Solar para Arquitectos de la Universidad Nacional Autónoma de México

- **Angulo Horario.** El ángulo horario para una superficie horizontal se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$w(0) = (T0 - 12 + ET - A0) \times 15 - (LL - LH) \quad (3)$$

Donde:

$w(0)$: Angulo horario

$T0$: Tiempo oficial del lugar, expresado en horas

ET : Ecuación del tiempo, expresado en horas

$A0$: Adelanto de la hora oficial, expresado en horas

LL : Longitud del lugar, expresado en grados

LH : Longitud del huso horario de referencia, expresado en grados

- **Angulo diario.** El ángulo diario es un parámetro relativo a la posición de la Tierra en el plano de la elíptica expresado en radianes, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\Gamma = \frac{360 \times (d_n - 1)}{365} \quad (4)$$

Donde:

Γ : Angulo diario

d_n : Numero del día del año

- **Ecuación del Tiempo.** Es una corrección que se aplica para ajustar la diferencia entre el tiempo solar verdadero y el tiempo solar medio, causada por la órbita elíptica de la Tierra y su inclinación axial. Se expresa en minutos y varía a lo largo del año.

$$ET = \frac{229.18}{60} * (0.000075 + 0.001868 * \cos(\Gamma) - 0.014615 * \cos(2\Gamma) - 0.04089 * \sin(2\Gamma) - 0.032077 * \sin(\Gamma)) \quad (5)$$

Donde:

ET: Ecuación del tiempo

Γ : Angulo diario

- **Angulo de Incidencia.** La fracción de radiación solar que es útil para el colector, es directamente proporcional al coseno de este ángulo. El ángulo de incidencia de un colector con su eje de giro horizontal viene definido por la ecuación:

$$\varphi = \cos^{-1}(\cos \delta \sqrt{(\cos \phi * \cos \omega + \tan \delta * \sin \phi)^2 + \sin^2 \omega}) \quad (6)$$

Donde:

δ : Declinación solar [°]

ϕ : Latitud del lugar [°]

ω : Angulo horario [°]

El modificador del ángulo de incidencia, el cual depende directamente del ángulo de incidencia, está dado por la ecuación polinómica:

$$K(\varphi) = 1 - 2.2307E - 4x\varphi - 1.1E - 4x\varphi^2 + 3.18596E - 6x\varphi^3 - 4.85509E - 8x\varphi^4 \quad (7)$$

- **Altitud Solar.** La altitud solar es el ángulo que se mide desde el horizonte hasta el cenit, variando entre 0° y 90°. Este ángulo se forma entre los rayos del sol dirigidos hacia el centro de la esfera celeste y el plano horizontal. Véase figura 9.

- **Ángulo Cenital.** El ángulo cenital sobre una superficie horizontal se define como el formado entre la línea que apunta al sol y la vertical. Además, la suma del ángulo cenital y el ángulo de elevación resulta en 90 grados. Véase figura 9.

$$\sin(\alpha) = \sin \phi * \sin \delta + \cos \phi * \cos \delta * \cos \omega \quad (8)$$

$$\cos(\theta_z) = \sin \phi * \sin \delta + \cos \phi * \cos \delta * \cos \omega \quad (9)$$

$$\theta_z + \alpha = 90^\circ \quad (10)$$

Donde:

α : Altitud Solar [°]

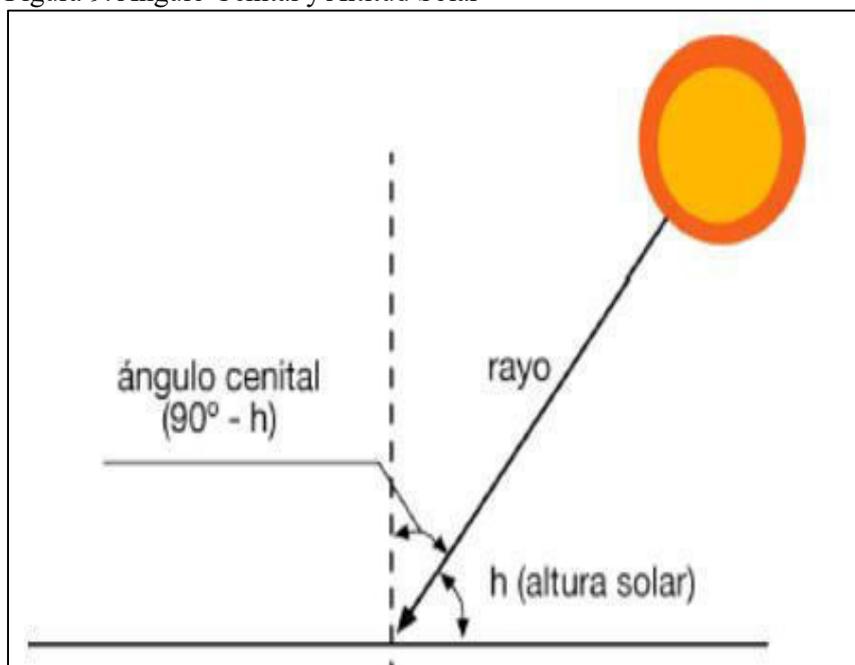
θ_z : Angulo Cenital [°]

ϕ : Latitud del lugar [°]

δ : Declinación solar [°]

ω : Angulo horario solar [°]

Figura 9. Angulo Cenital y Altitud Solar



Fuente: Tomado de Geometría Solar para Arquitectos de la Universidad Nacional Autónoma de México

- **Ángulo Azimutal.** El ángulo de acimut representa la dirección desde la cual llega la luz solar, según la brújula, y se mide en el sentido de las manecillas del reloj a partir del Norte, a lo largo del horizonte del observador. Este ángulo cambia a lo largo del día y también varía

dependiendo de la latitud y la estación del año. (Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.). Véase figura 10.

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta * \sin \omega}{\cos \alpha} \quad (11)$$

$$\cos \gamma_s = \frac{\sin \delta * \cos \phi - \cos \delta * \sin \phi * \cos \omega}{\cos \alpha} \quad (12)$$

$$\gamma_s = \tan^{-1} 2(\sin \gamma_s * \cos \gamma_s) \quad (13)$$

Donde:

γ_s : Angulo Azimutal [°]

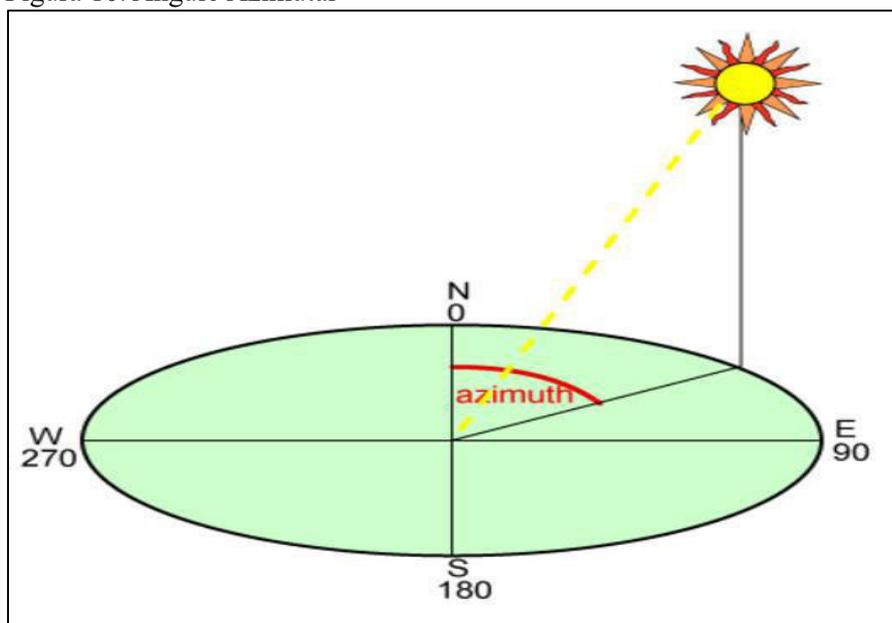
α : Altitud Solar [°]

ϕ : Latitud del lugar [°]

δ : Declinación solar [°]

ω : Angulo horario solar [°]

Figura 10. Angulo Azimutal



Fuente: Tomado de Geometría Solar para Arquitectos de la Universidad Nacional Autónoma de México

2.5.1.4 *Ángulos de operación en el Campo Solar*

- **Angulo de Estiba.** Es la posición de seguridad en los que las superficies reflectoras se

colocan para protegerse de condiciones climáticas adversas, como vientos fuertes y tormentas; mantenimiento y limpieza; periodos de inactividad prolongados. (Laboratorio Nacional de Energías Renovables, s.f.).

- **Angulo de Despliegue.** El ángulo de despliegue es la posición angular de los colectores cuando están en operación activa, siguiendo la trayectoria solar para maximizar la captación de energía. (Laboratorio Nacional de Energías Renovables, s.f.).
- **Angulo de inclinación solar.** Determina cuanta radiación solar se incide directamente sobre el colector. Un diseño óptimo ajusta este ángulo en función de la latitud del lugar y del tipo de sistema de seguimiento solar, con el fin de maximizar la captación de energía a lo largo del año. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\theta_t = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \omega}{\tan \delta * \cos \phi - \sin \phi * \cos \omega} \right) \quad (14)$$

Donde:

ω : ángulo horario [°]

δ : Declinación solar [°]

ϕ : latitud del lugar [°]

2.5.1.5 Eficiencia del campo solar. Es la relación entre la energía térmica útil del fluido de trabajo y la energía solar que incide sobre el área del colector. Indica la eficiencia con que el sistema convierte la radiación solar en calor.

$$\eta_{campo} = \frac{m * C_p * (T_{salida} - T_{entrada})}{DNI * A_{apertura}} \quad (15)$$

Donde:

m : Caudal másico del fluido de trabajo (kg/s)

C_p : Calor específico del fluido (J/kg. K)

T_{salida} : Temperatura del fluido a la salida del campo solar (°C)

$T_{entrada}$: Temperatura del fluido a la entrada del campo solar (°C)

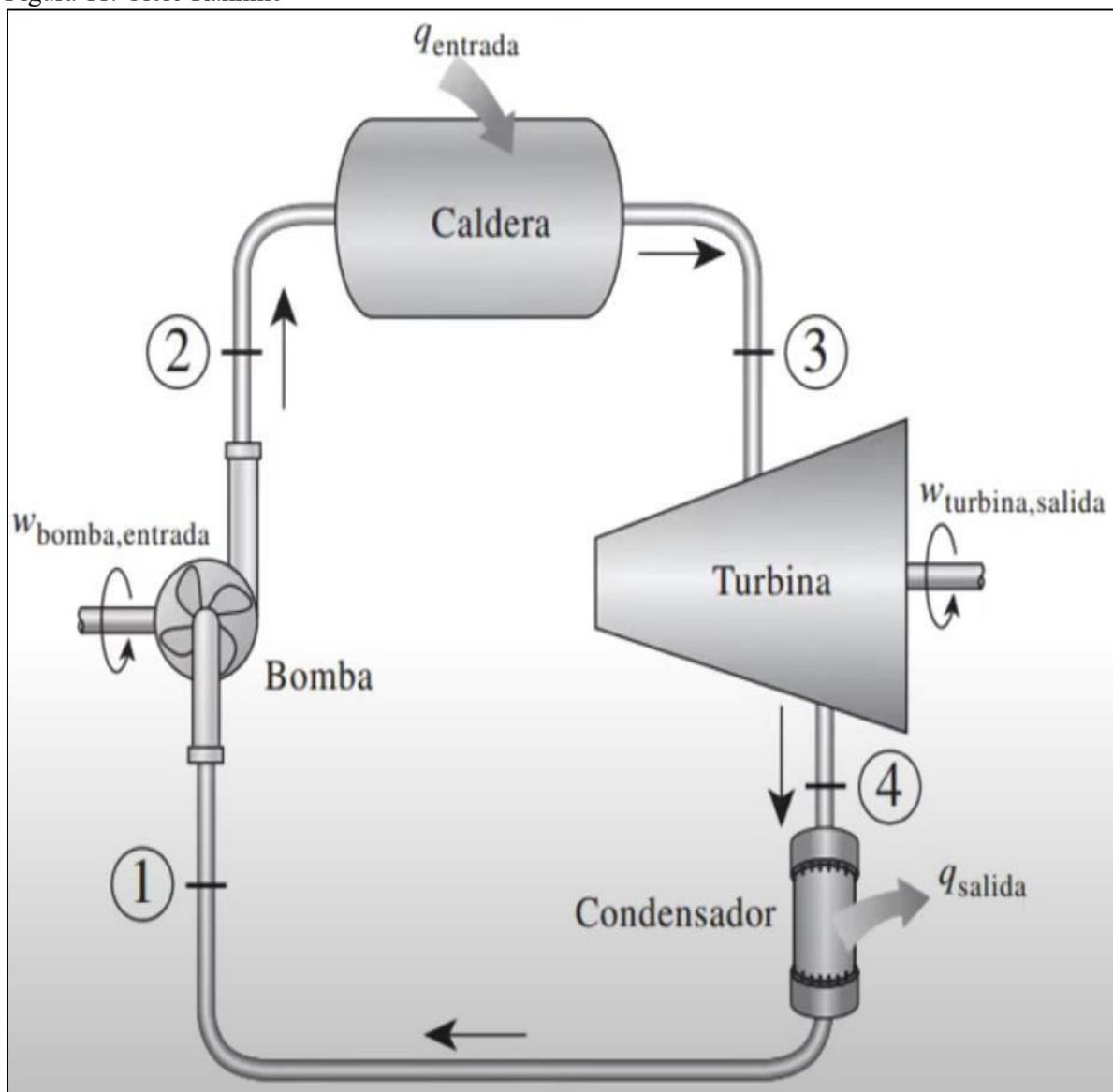
DNI : Radiación Directa Normal (W/m^2)

$A_{apertura}$: Área de apertura del campo colector (m^2)

2.5.2 Bloque de Potencia

2.5.2.1 Ciclo Rankine. Es la base de funcionamiento de las centrales que usan la energía térmica para producir electricidad. Es un ciclo que opera con vapor, consiste en calentar agua hasta llegar a la evaporación y elevar la presión del vapor. Después, este será llevado a una turbina para producir energía cinética que a la vez que va disminuyendo su presión y posteriormente se produzca energía eléctrica, a través del alternador que este acoplado a la turbina. El vapor sigue su camino hacia un condensador donde se transforma en líquido para poder entrar a una bomba que subirá la presión para su introducción a la caldera nuevamente (Universidad de Sevilla, s.f.). En la figura 11 se observa las partes principales del ciclo Rankine.

Figura 11. Ciclo Rankine



Fuente: Tomado de la Guía 1 Ciclo Rankine de Caracciolo (2009)

De la figura 11, se tiene:

- Trabajo de la bomba

$$W_{bomba} = v * (P_2 - P_1) \quad (16)$$

- Calor añadido en la caldera

$$Q_{in} = h_3 - h_2 \quad (17)$$

- Trabajo de la turbina

$$W_{turbina} = h_3 - h_4 \quad (18)$$

- Calor rechazado en el condensador

$$Q_{out} = h_4 - h_1 \quad (19)$$

- Eficiencia térmica del ciclo Rankine

$$\eta = \frac{W_{turbina} - W_{bomba}}{Q_{in}} \quad (20)$$

- Balance de energía del ciclo Rankine

$$W_{neta} = W_{turbina} - W_{bomba} \quad (21)$$

- Rendimiento isentropico de la turbina

$$\eta_{turbina} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}} \quad (22)$$

Donde:

h_i : Entalpia (kJ/kg)

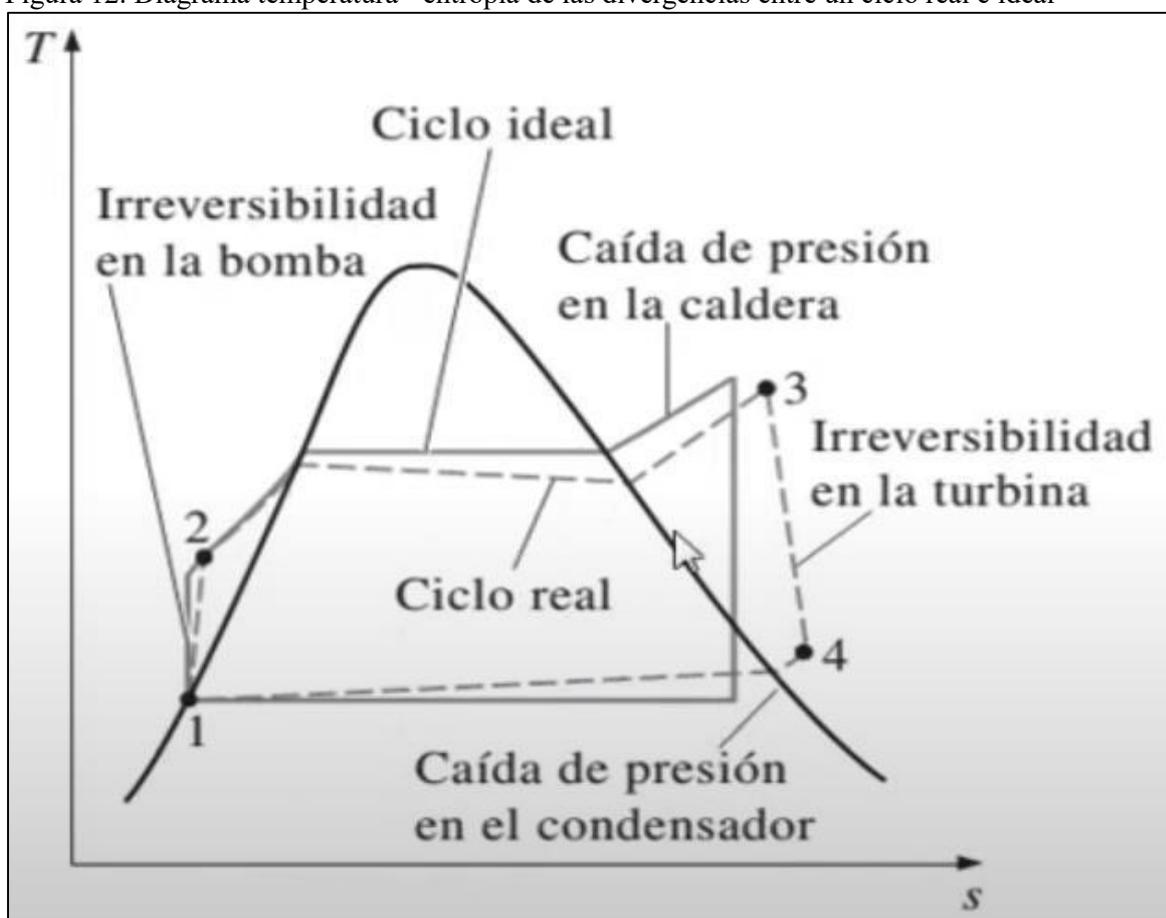
P_i : Presión (kPa – Pa)

Q_i : Calor (kJ/kg)

W_i : Trabajo (kJ/kg)

2.5.2.2 Divergencias entre el ciclo real e ideal. La presencia de irreversibilidades en un ciclo real ocasiona una menor eficiencia, respecto a la de un ideal. Las fuentes principales de irreversibilidades son: perdidas por fricción, perdidas de calor, irreversibilidades en las bombas y turbinas (Caracciolo,2009). Véase figura 12.

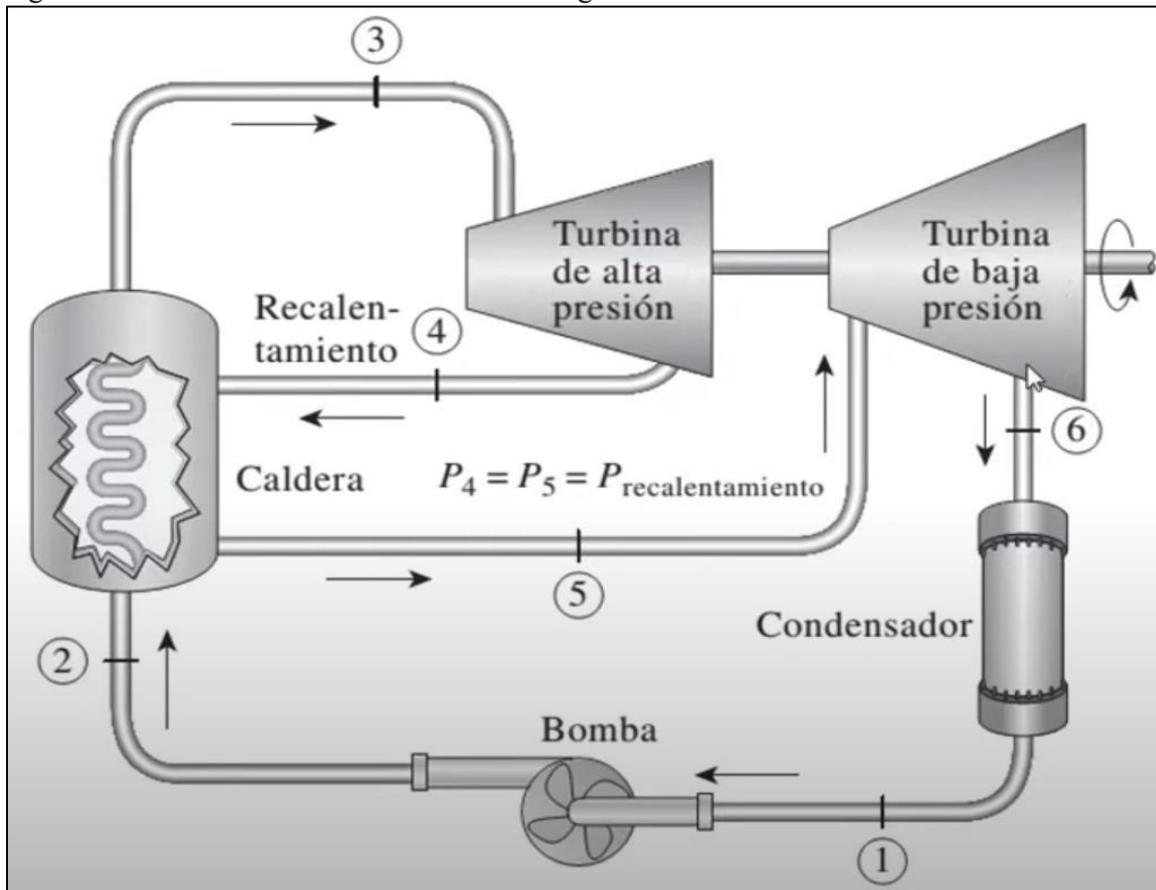
Figura 12. Diagrama temperatura - entropía de las divergencias entre un ciclo real e ideal



Fuente: Tomado de la Guía 1 Ciclo Rankine de Caracciolo (2009)

2.5.2.3 Ciclo Rankine con Recalentamiento Regenerativo. Tiene como fin, mejorar la eficiencia del ciclo Rankine. Constituido por una turbina de dos etapas una de alta y otra de baja presión. Se sustrae una parte de vapor expandido en la turbina de alta presión para recalentarlo a presión constante en una caldera y después el vapor es devuelto a la turbina de baja presión para su expansión hasta la presión de salida. (Caracciolo,2009). Véase figura 13 y 14.

Figura 13. Ciclo Rankine con recalentamiento regenerativo



Fuente: Tomado de la Guía 1 Ciclo Rankine de Caracciolo (2009)

- Trabajo de la bomba

$$W_{bomba} = v * (P_2 - P_1) \quad (23)$$

- Calor añadido en caldera

$$Q_{in} = (h_3 - h_2) + (h_5 - h_4) \quad (24)$$

- Trabajo de la turbina de alta presión

$$W_{t1} = h_3 - h_4 \quad (25)$$

- Trabajo de la turbina de baja presión

$$W_{t2} = h_5 - h_6 \quad (26)$$

- Calor rechazado

$$Q_{out} = h_6 - h_1 \quad (27)$$

- Trabajo neto total

$$W_{neto} = (W_{t1} + W_{t2}) - W_{bomba} \quad (28)$$

- Eficiencia térmica del ciclo Rankine

$$\eta = \frac{W_{neto}}{Q_{in}} \quad (29)$$

Donde:

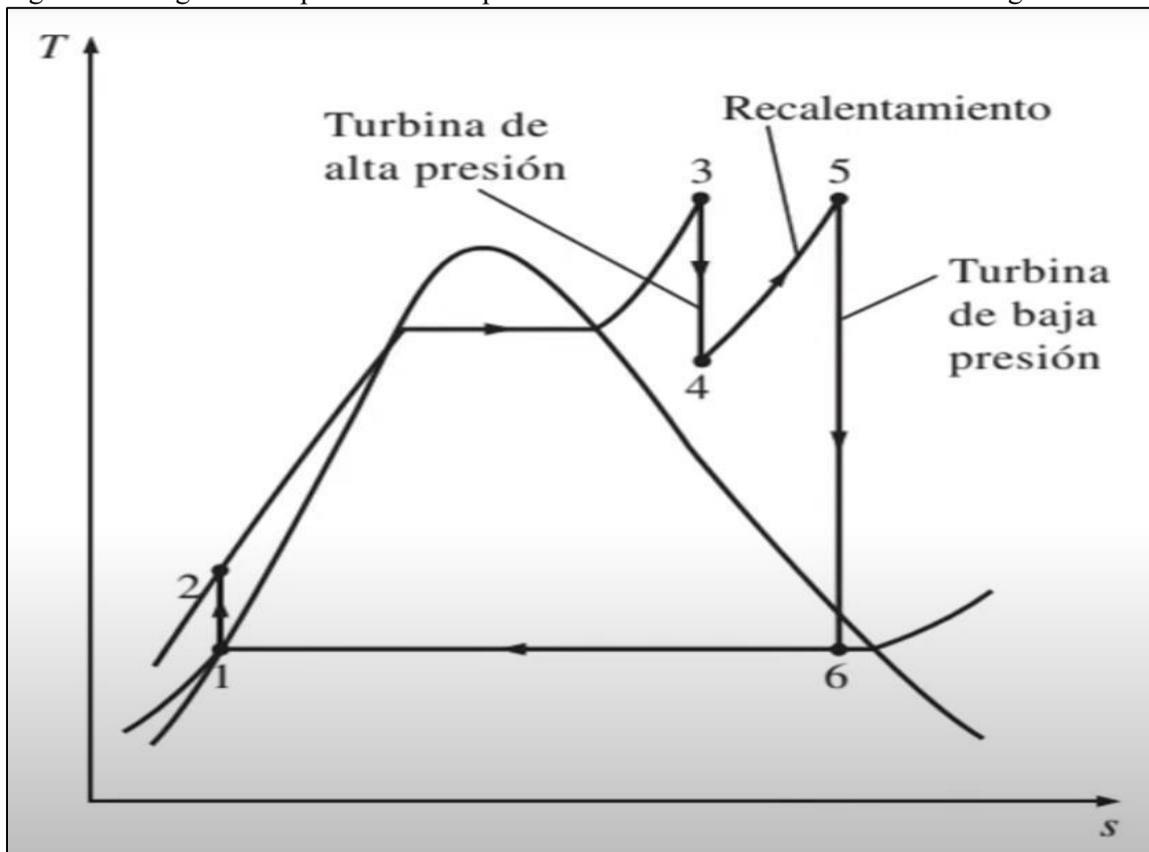
h_i : Entalpía (kJ/kg)

P_i : Presión (kPa – Pa)

Q_i : Calor (kJ/kg)

W_i : Trabajo (kJ/kg)

Figura 14. Diagrama temperatura - entropía del ciclo Rankine con recalentamiento regenerativo



Fuente: Tomado de la Guía 1 Ciclo Rankine de Caracciolo (2009)

2.5.2.4 *Componentes del Bloque de Potencia*

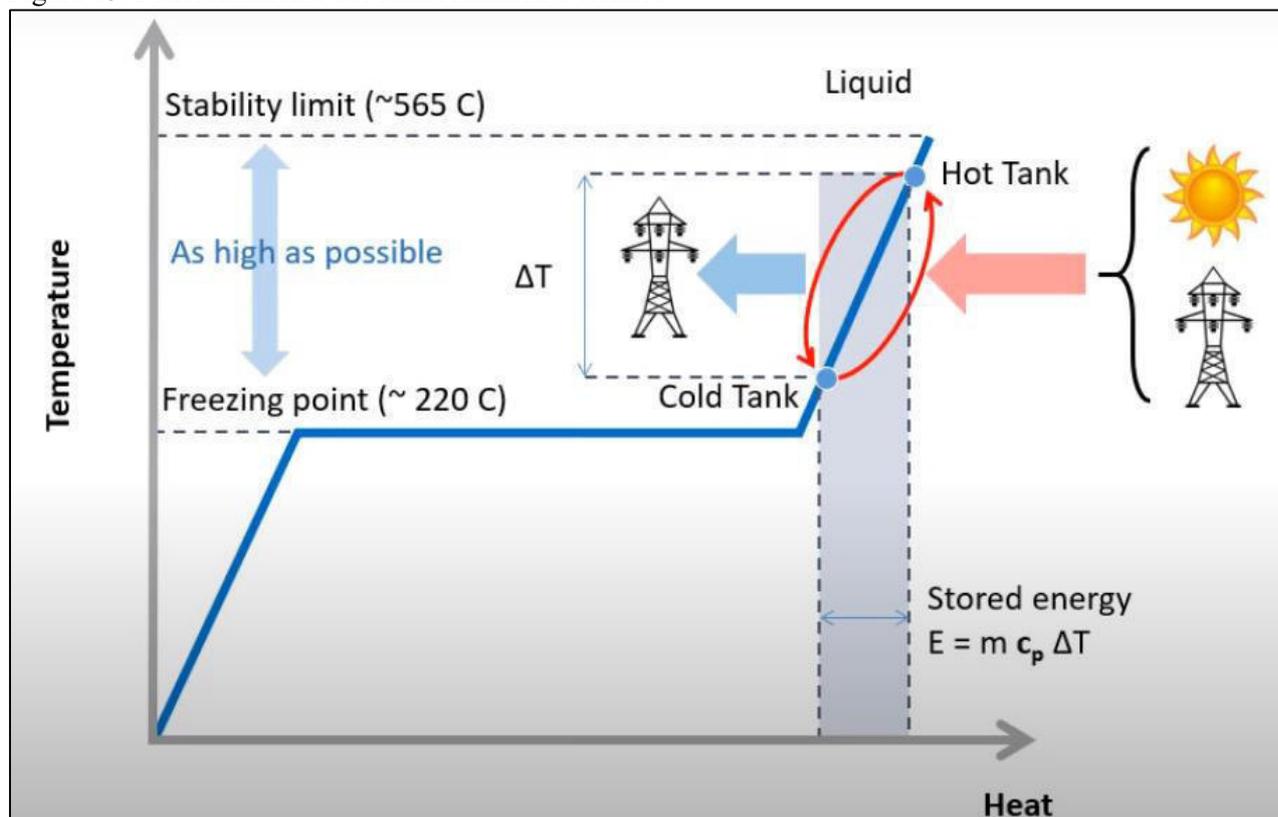
- **Generador Síncrono.** Máquina eléctrica encargada de generar energía eléctrica, operando a velocidad síncrona. El generador necesita una fuente (excitatriz) para alimentar de corriente continua al rotor del generador, y convertirlo en un electroimán, junto con un regulador de tensión adecuado. Además, el sistema debe contar con un regulador de velocidad correspondiente, el cual controla la turbina para mantener la frecuencia constante. (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2012).
- **Turbina de Vapor.** Máquina térmica que transforma la energía del vapor en energía mecánica en un eje para girar el generador eléctrico. Las turbinas pueden trabajar con alta presión, media presión y baja presión; para mejorar su eficiencia.
- **Evaporador.** Es un intercambiador de calor por donde pasan fluidos a diferentes temperaturas, lo que facilita el intercambio de energía del fluido de alta temperatura al de baja temperatura. Compuesto por tubos de agua que intercambian calor con el HTF proveniente del campo solar.
- **Condensador.** Es un componente de intercambio de calor que se encarga de extraer calor de vapor de la mezcla líquido vapor, convirtiéndole en agua líquida. Usa el agua que proviene de una torre de refrigeración.
- **Desgasificador.** El desgasificador recibe el condensado proveniente de la etapa de baja presión, junto con las extracciones de la turbina de alta presión. Su propósito es eliminar gases como el oxígeno y el dióxido de carbono, los cuales pueden generar corrosión en el acero y otros metales, evitando así posibles fallas en la instalación.
- **Precalentador.** Es un intercambiador de calor que eleva la temperatura del agua hasta acercarla al punto de evaporación. Este proceso permite saturar el agua, optimizar la eficiencia térmica del sistema y prevenir las contracciones térmicas que podrían generarse si el agua ingresara al vaporizador sin un adecuado precalentamiento.
- **Sobrecalentador.** Es un intercambiador de calor que tiene como función incrementar la temperatura del vapor hasta llegar a la demandada por el ciclo de potencia. Con el fin, de incrementar el rendimiento del ciclo.
- **Bombas.** Se usa para la impulsión o movimiento continuo del fluido caloportador en el campo solar, en el sistema de almacenamiento y también para la protección contra el congelamiento del fluido en una central termosolar.
- **Torre de Refrigeración (refrigeración húmeda).** Una torre de refrigeración utiliza el principio de enfriamiento evaporativo, donde parte del agua se evapora al contacto con el aire, lo que reduce la temperatura del agua restante.
- **Refrigeración en seco.** La refrigeración en seco usa intercambiadores de calor de aire en lugar de agua para disipar calor, tiene una menor eficiencia térmica que las torres de refrigeración.

- **Sistemas Auxiliares.** En toda instalación de estas características es esencial contar con: Sistema de protección contra incendios, Sistema de ventilación y Aire Acondicionado, Sistema de alumbrado, Sistema de suministro y tratamiento de agua.

2.5.3 Sistema de Almacenamiento Térmico

Las Sales Fundidas son utilizadas para almacenar energía térmica en forma de calor sensible, manteniéndose en estado líquido. El sistema está formado por dos tanques: uno destinado a almacenar las sales frías que regresan del generador de vapor y otro para las sales calientes procedentes de los colectores. Durante el funcionamiento de una central termosolar, las sales calientes atraviesan un intercambiador de calor, donde ceden su energía, se enfrían y generan vapor para accionar la turbina. Tras este proceso, las sales regresan al tanque frío. La temperatura mínima de las sales es su punto de congelación (220°C), por debajo del cual se solidifican, y su límite máximo es 565°C , a partir del cual empiezan a descomponerse. A raíz de, las temperaturas altas, los tanques están completamente aislados para mantener la temperatura constante de las sales en su interior. El almacenamiento indirecto es cuando el HTF de la central es aceite sintético; por lo que, se usa un intercambiador de aceite/sal. Por otra parte, en el almacenamiento directo, el HTF y el medio de almacenamiento son las sales fundidas. En la figura 15 se visualiza el principio de funcionamiento del almacenamiento térmico. (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2012).

Figura 15. Funcionamiento del almacenamiento térmico



Fuente: Tomado de Renewable and Sustainable Energy Reviews de Liu (2016)

La capacidad de almacenamiento de energía térmica, se define:

$$E_H = m * C_p * T_H \quad (30)$$

$$E_L = m * C_p * T_L \quad (31)$$

$$\Delta E = m * C_p * (T_H - T_L) \quad (32)$$

Donde:

m : Masa de sales (gr)

C_p : Calor específico de la sal (j/g-k)

T_H : Temperatura del tanque caliente (°K)

T_L : Temperatura del tanque frío (°K)

2.5.4 Producción de energía eléctrica

$$P_e = I_S * S_{espejos} * \eta_{C,vapor} * \eta_{alternador} * h \quad (33)$$

Donde:

P_e : Producción de energía eléctrica generada (kWh)

I_S : Radiación Normal Directa (kW/m²)

$S_{espejos}$: Superficie especular de la central (m²)

$\eta_{C,vapor}$: Rendimiento del ciclo de vapor

$\eta_{alternador}$: Rendimiento del alternador

h : Horas de producción

2.6 Software System Advisor Model (SAM)

El Modelo Asesor de Sistemas (SAM) es una aplicación de escritorio gratuita para el análisis técnico-económico de tecnologías energéticas. Es utilizada por gestores de proyectos e ingenieros, analistas de políticas, desarrolladores de tecnología e investigadores

para analizar la viabilidad técnica, económica y financiera de proyectos de energías renovables. Las características y ventajas de SAM se visualizan en las tablas 6 y 7 respectivamente.

2.6.1 Características del software SAM

Tabla 6. Características del software SAM

	Característica
Tipo de software	Simulador técnico económico para energías renovables
Licencia	Gratuito y de código abierto
Tecnologías que simula	Solar fotovoltaica, termosolar (CSP), eólica, biomasa, geotérmica, híbridos, etc.
Simulación financiera	LCOE, TIR, flujo de caja, recuperación de inversión
Simulación técnica	Producción energética horaria, anual, pérdidas
Base de datos climática	Compatible con archivos satelitales
Almacenamiento	Baterías (Li-ion, plomo-ácido) y almacenamiento térmico (en CSP)
Salida de resultados	Exportables en Excel/CSV, gráficos detallados por hora, mes, año
Actualización	Mantenido por NREL, con soporte técnico y foros activos

Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

2.6.2 Ventajas en Centrales Termosolares del software SAM

Tabla 7. Ventajas en Centrales Termosolares del software SAM

COMPONENTES	VENTAJA EN SAM	POR QUE ES IMPORTANTE
Geometría del campo solar	Permite definir número de colectores, espaciado, orientación, longitud de tubos y eficiencia óptica.	Mejora la precisión del cálculo de intersombras, pérdidas ópticas y superficie útil.
Seguimiento solar	Simula seguimiento solar a 1 eje o a 2 ejes, según la tecnología (p. ej. torre o cilindro-parabólico).	Afecta directamente la captación de radiación DNI, clave en tecnología CSP.
Modelo de bloque de potencia	Incluye ciclo Rankine, eficiencia térmica variable con carga, arranques y paradas, consumo auxiliar.	Permite simular la generación eléctrica real, considerando fluctuaciones y eficiencia del ciclo térmico.
Almacenamiento térmico (TES)	Modela el sistema de sales fundidas: capacidad en horas, pérdidas por aislamiento, temperatura mínima/máxima.	Permite analizar cuántas horas de generación continua puede sostener la planta sin sol directo.
Control de operación (despacho)	Estrategias de despacho: seguir la demanda, maximizar ingresos, evitar vertimientos o pérdidas térmicas.	Refleja el comportamiento dinámico del sistema según la demanda y precios del mercado eléctrico.
Curva de eficiencia vs radiación	SAM simula la variación de la eficiencia térmica con la radiación DNI y la temperatura ambiente.	Mejora la predicción horaria en climas variables (por ejemplo, con nubosidad parcial).

Variables meteorológicas completas	Usa DNI horaria, temperatura, velocidad del viento, humedad y presión atmosférica.	Refina el cálculo de pérdidas ópticas, convección, y eficiencia del ciclo térmico.
Simulación horaria (8760 h/año)	Modelo paso a paso hora por hora de todo el año.	Permite evaluar carga térmica, producción eléctrica, carga/descarga de almacenamiento y consumo auxiliar.
Pérdidas detalladas	Considera pérdidas ópticas, térmicas, por bombeo, limpieza, degradación, disponibilidad, etc.	Da una visión realista de la producción útil de la planta y los mantenimientos necesarios.
Análisis financiero integrado	Calcula LCOE, flujo de caja, VPN, TIR, sensibilidad a precios, tarifas PPA, O&M, escalamiento de costos.	Permite evaluar la viabilidad económica real del proyecto sin usar software externo como Excel.
Simulación de escenarios híbridos	Posibilidad de combinar CSP con fotovoltaica, baterías u otras fuentes.	Analiza sistemas integrados más robustos para operar 24/7 o reducir costos nivelados.

Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

2.6.3 Funcionamiento del Software SAM en centrales termosolares de cilindros parabólicos

2.6.3.1 Localización y Recurso (Location and Resource). Define el lugar de instalación y carga de los datos climáticos (DNI, temperatura ambiente, etc.) como se observa en la figura 16. SAM usa esta información para estimar la generación, sin modelar detalladamente la óptica del colector.

Figura 16. Localización y Recurso en SAM

The screenshot shows the SAM software interface for configuring location and resource data. The main window is titled "Location and Resource" and contains several sections:

- Download Weather Files:** This section allows users to download weather files from the NSRDB. It includes radio buttons for "One location" (selected) and "Multiple locations", and options for "60-minute" and "30-minute" data resolution. There is also an "Advanced download" checkbox and a "Download and add to library..." button.
- Weather Data Information:** This section provides details about the selected weather file. It shows the file path and a "View data..." button. Below this, there is a "Header Data from Weather File" section with input fields for Latitude (-16.23 degrees), Longitude (-73.62 degrees), Time zone (GMT -5), Elevation (50 m), and Time step (60 minutes). The Location is set to 1256983 and the Data Source is NSRDB.
- Annual Averages Calculated from Weather File Data:** This section displays a table of calculated values:

Parameter	Value
Global horizontal	5.84 kWh/m ² /day
Direct normal (beam)	5.23 kWh/m ² /day
Diffuse horizontal	2.14 kWh/m ² /day
Average temperature	23.0 °C
Average wind speed	1.9 m/s

Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

2.6.3.2 Campo Solar (Solar Field). Configura el área del campo solar y la cantidad de módulos colectores. Se especifica el espaciado entre colectores, longitud, área total. Aquí se ajusta el múltiplo solar, que indica cuánta área colectora hay respecto al bloque de potencia. Véase figura 17.

Figura 17. Campo Solar en SAM

The screenshot shows the SAM software interface with the 'Solar Field' configuration panel. The panel is divided into several sections:

- Field Layout:**
 - Option 1: Solar Multiple: 2.5
 - Option 2: Solar Field Area: 887875 m²
 - Distance Between SCAs in Row: 1 m
 - Row Spacing, Center to Center: 18 m
 - Number of SCAs per Row: 4
 - Deploy Angle: 10 deg
 - Stow Angle: 170 deg
- Heat Transfer Fluid:**
 - Solar Field HTF Type: Therminol VP-1
 - Field HTF Min Operating Temp.: 12 °C
 - Field HTF Max Operating Temp.: 400 °C
 - Solar Field Inlet Temp.: 293 °C
 - Solar Field Outlet Temp.: 393 °C
 - Solar Field Initial Temp.: 100 °C
 - Piping Heat Loss at Design Temp.: 10 W/m²
 - Piping Heat Loss Coefficient 1: 0.001693
 - Piping Heat Loss Coefficient 2: -1.683e-05
 - Piping Heat Loss Coefficient 3: 6.78e-08
 - Solar Field Piping Heat Losses: 10.5 W/m²
 - Minimum HTF Temp.: 50 °C
 - HTF Gallons per Area: 0.614 gal/m²
- Solar Multiple (Design Point):**
 - Calculated Values:
 - Solar Multiple: 2.5
 - Aperture Reflective Area: 59,269 m²
 - Solar Multiple Reference Conditions:
 - Ambient Temp.: 22.5 °C
 - Direct Normal Radiation: 900 W/m²
 - Wind Velocity: 3.8 m/s
 - Reference Condition (SM=1):
 - Exact Aperture Reflective Area: 23246.62 m²
 - Exact Number of SCAs: 28.44
 - Values From Other Pages:
 - Aperture Area per SCA: 817.5 m²/SCA
 - HCE Thermal Losses: 34.3 W/m²
 - Optical Efficiency: 0.772
 - Design Turbine Thermal Input: 15.103 MWt
- Orientation:**
 - Collector Tilt: 16.4 deg
 - Collector Azimuth: 0 deg
 - Tilt: horizontal=0, vertical=90
 - Azimuth: equator=0, west=90, east=-90
- Land Area:**
 - Solar Field Land Area: 45 acres
 - Non-Solar Field Land Area Multiplier: 1.2
 - Total Land Area: 890 acres

Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

2.6.3.3 Colectores (Collectors). En esta pestaña, como se visualiza en la figura 18, SAM te permite elegir un colector comercial existente desde una base de datos incorporada. Cada colector ya viene con sus curvas de eficiencia térmica (por ejemplo: Solargenix SGX-1, EuroTrough, Luz LS-3, etc.). Al seleccionar un modelo, se cargan automáticamente:

- Área efectiva
- Longitud y ancho del colector
- Curva de eficiencia empírica (coeficientes a, b, c)

Figura 18. Colectores en SAM

The screenshot displays the SAM 2022.11.21 software interface. The top menu bar includes 'File', '+ Add', '2', 'untitled (1)', and 'untitled'. The left sidebar shows a navigation tree with categories: 'Trough (empr), No financial', 'Location and Resource', 'Solar Field', 'Collectors (SCAs)', 'Receivers (HCEs)', 'Power Block', 'Thermal Storage', 'Parasitics', and 'Grid Limits'. The 'Collectors (SCAs)' category is selected.

The main window is divided into two sections:

- Solar Collector Assembly (SCA) Library:** A table listing various collector models with their properties.
- Solar Collector Assembly (SCA) Properties:** A configuration panel for the selected collector, with a 'Use library values' checkbox checked.

Name	SCA Length	Aperture	Aperture Area	Focal Len	IAM Coefficient F0	IAM Coefficient F1	AM C ^
EuroTrough ET150	150	5.75	817.5	2.1	1	0.0506	-0.176
Luz LS-2	50	5	235	1.8	1	0.0506	-0.176
Luz LS-3	100	5.75	545	2.1	1	0.0506	-0.176
Solargenix SGX-1	100	5	470.3	1.8	1	0.0506	-0.176
AlbisaTrough AT150 (Manufacturer Specifications)	150	5.774	817.5	1.71	1	0.0506	-0.176
Siemens SunField 6	95.2	5.776	545	2.17	1	-0.0753	-0.036

The 'Solar Collector Assembly (SCA) Properties' section includes the following parameters:

- Use library values:
- SCA Length: 150 m
- SCA Aperture: 5.75 m
- SCA Aperture Reflective Area: 817.5 m²
- Average Focal Length: 2.1 m
- Incidence Angle Modifier Coef. F0: 1
- Incidence Angle Modifier Coef. F1: 0.0506
- Incidence Angle Modifier Coef. F2: -0.1763
- Tracking Error and Twist: 0.99
- Geometric Accuracy: 0.98
- Mirror Reflectance: 0.935
- Mirror Cleanliness Factor (avg): 0.97
- Dust on Envelope (avg): 0.98
- Concentrator Factor: 1
- Solar Field Availability: 0.99

At the bottom of the interface, there is a 'Simulate' button and a sidebar with 'Parametrics', 'Stochastic', 'P50 / P90', and 'Macros' options.

Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

2.6.3.4 Receptores (Receivers). Como se observa en la figura 19, similar al caso de los colectores, puedes seleccionar un modelo de tubo receptor de una base de datos preexistente (como Schott PTR70, Siemens UVAC, etc.). Cada receptor viene con propiedades como:

- Diámetro del tubo
- Pérdidas térmicas
- Transmitancia-absorbancia del recubrimiento
- Eficiencia global del receptor

Figura 19. Receptores en SAM

The screenshot displays the SAM software interface. The top menu bar includes 'File', 'Add', and 'untitled (1)'. The left sidebar shows a navigation tree with 'Receivers (HCEs)' selected. The main window is divided into two sections:

Heat Collection Element (HCE) / Receiver Library

Name	Broken	Bellows	Transmissivity	Absorption	Unaccounted	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Luz Cermet Vacuum	0	0.971	0.935	0.925	1	2.4237	0.21369	-0.00047461	6.88E-06	9.62E-08	-2.2
Luz Cermet Lost Vacuum	0	0.971	0.935	0.925	1	0.64628	0.82543	-0.00014146	5.96E-06	4.18E-08	-5.6
Luz Cermet Broken Glass	1	0.971	1	0.8	1	100.05	-0.73508	-0.0086348	2.67E-05	6.65E-07	-99
Luz Cermet Hydrogen	0	0.971	0.935	0.925	1	7.0233	1.2752	0.0015105	5.05E-06	7.03E-08	-4.2
Luz Cermet/Fluorescent	0	0.971	0.7	0.8	1	0.64628	0.82543	-0.00014146	5.96E-06	4.18E-08	-5.6
Solel UVAC2 Vacuum	0	0.971	0.96	0.96	1	1.8615	0.18741	-0.0011594	6.60E-06	8.80E-08	-0.9
Solel UVAC2 Lost Vacuum	0	0.971	0.96	0.96	1	-0.16634	0.87716	-0.00075942	5.77E-06	4.45E-08	-4.2
Solel UVAC2 Broken Glass	1	0.971	1	0.9	1	116.25	-0.97124	-0.010638	2.93E-05	7.35E-07	-10
Solel UVAC2 Hydrogen	0	0.971	0.96	0.96	1	9.2419	1.3648	0.0010516	4.80E-06	9.26E-08	-3.7
Solel UVAC3 Vacuum	0	0.971	0.96	0.96	1	0.6364	0.1136	-0.0008	4.99E-06	6.59E-08	-0.5

Heat Collection Element (HCE) / Receiver Properties

	Receiver 1	Receiver 2	Receiver 3	Receiver 4
Name from Library	Solel UVAC3	Solel UVAC3	Solel UVAC3	Solel UVAC3
Condition from Library	Vacuum	Vacuum	Vacuum	Vacuum
<input type="checkbox"/> Broken Glass				
Percent of Solar Field:	0.985	0.01	0.005	0
Optical Parameters:				
Bellows Shadowing	0.971	0.971	0.971	0.971
Envelope Transmissivity	0.96	0.96	0.96	0.96
Absorber Absorption	0.96	0.96	0.96	0.96
Unaccounted	1	1	1	1
Optical Efficiency (HCE)	0.772	0.772	0.772	0.772
Optical Efficiency (Weighted)	0.772			

Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

2.6.3.5 Bloque de potencia (Power Block). Como se observa en la figura 20, se elige un Ciclo Rankine estándar de la librería, se cargan automáticamente parámetros como:

- Eficiencia térmica
- Relación de diseño entre carga parcial y máxima
- Consumo de agua para enfriamiento
- Pérdidas de calor y otras condiciones operativas.

También se puede optar por ingresar datos manualmente si hay un diseño específico o se está evaluando un proveedor en particular, pero el uso de bloques predefinidos es lo más común en estudios iniciales o académicos.

Figura 20. Bloque de Potencia en SAM

Plant Characteristics

Design Gross Output: 5.7 MWe
 Estimated Gross to Net Conversion Factor: 0.88
 Estimated Net Output at Design: 5.0 MWe

System Availability

Constant loss: 4.0 %
 Time series losses not enabled
 Custom periods not enabled

Power Cycle Library

Description	Type	Efficiency	Max Output	Min Output	Startup Energy	TEF0	TEF1	TEF2
APS Ormat 1MWe 300C	Recuperated ORC Wet Cooling	0.2071	1.15	0.25	0.05	-0.1594	0.9262	1.1349
Dry Cooled SEGS 80 MWe Turbine	Steam RH Dry Cooling	0.3774	1.15	0.25	0.2	-0.037726	1.0062	0.076316
Siemens 400C HTF	Steam RH Wet Cooling	0.3736	1.15	0.25	0.2	-0.0298	0.7219	0.7158
Nexant 500C HTF	Steam RH Wet Cooling	0.4076	1.15	0.25	0.2	-0.0253	1.0262	0

Power Cycle Properties

Use library values

Description from Library: Dry Cooled SEGS 80 MWe Turbine / Steam RH Dry Cooling

Design Cycle Thermal Input: 15.103 MWt
 Rated Cycle Conversion Efficiency: 0.3774
 Max turbine over design operation*: 1.15
 Min turbine operation*: 0.25

Frac of thermal power for startup: 0.2
 Boiler LHV Efficiency: 0.9
 Max. Thermal Input: 17.335 MWt
 Min. Thermal Input: 4.244 MWt

	F0	F1	F2	F3	F4
Cycle Part-load Therm to Elec	-0.037726	1.0062	0.076316	-0.044775	0
Cycle Part-load Elec to Therm	0.03737	0.98823	-0.064991	0.039388	0
Cooling Tower Correction	1.00873	0.00435842	-0.00025102	-9.02e-07	4.82e-08

Temp. Correction Mode: Dry-bulb Basis

* Fraction of Design Point

Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

2.6.3.6 Almacenamiento térmico (Thermal Storage). En la pestaña de Thermal Storage, como se visualiza en la figura 21, permite definir la capacidad de almacenamiento térmico (en horas de autonomía) y las características del medio térmico utilizado (como sales fundidas u otros fluidos).

Figura 21. Almacenamiento Térmico en SAM

Thermal Energy Storage (TES)

Equivalent Full Load Hours of TES: 10 hours
 Storage System Configuration: Two Tank
 Storage Fluid Type: Hitec Solar Salt
 Turbine TES Adj. - Efficiency: 0.985
 Turbine TES Adj. - Gross Output: 0.998
 Initial Energy as Fraction of Maximum: 0 MWht
 Tank Heat Losses: 0.97 MWht

Maximum Energy Storage: 151.03 MWht
 Design Turbine Thermal Input: 15.103 MWt
 Max. Power To Storage: 22.655 MWt
 Max. Power From Storage: 15.303 MWt
 Heat Exchanger Duty*: 1.500
 Storage HTF min operating temp: 238 °C
 Storage HTF max operating temp: 593 °C

Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

2.6.3.7 Parasitarios (Parasitic). En la pestaña Parasitic de SAM, como se observa en la figura 22, se configuran los consumos de energía para los sistemas auxiliares de la planta, como las bombas, el sistema de seguimiento solar y los controles. Estos consumos parasitarios se restan de la energía generada, afectando la energía neta disponible para la red o el uso interno, lo cual es crucial para estimar el rendimiento real de la planta.

Figura 22. Parasitarios en SAM

The screenshot shows the SAM software interface with the 'Parasitics' tab selected. The 'Reference Parasitic Electric Energy Use Library' panel displays a table of parasitic energy use values for various components. The 'Parasitic Electric Energy Use' panel shows the configuration for these components, including the use of library values and the resulting design point parasitics.

Name	SF Const	SF Partload	HTFPump Const	HTFPump Partload	HTFPump F0	HTFPump F1	HTFPump F2	TES Const	TES Part
500C Molten Salt HTF	2.66E-07	0.5	1.052E-05	0.35	-0.036	0.242	0.794	0.02	0.35
450C Molten Salt HTF	2.66E-07	0.5	1.052E-05	0.5	-0.036	0.242	0.794	0.02	0.5
550C Molten Salt HTF	2.66E-07	0.5	1.052E-05	0.3	-0.036	0.242	0.794	0.02	0.3
SEGS VIII Reference	2.66E-07	1	1.052E-05	1	-0.036	0.242	0.794	0.02	1

Component	Value	Unit	PF	F0	F1	F2	Design Point Parasitics
SCA Drives & Electronics	2.66e-07	MWe/m2	1				0.016
Solar Field HTF Pumps	1.052e-05	MWe/m2	1	-0.036	0.242	0.794	0.624
TES Pumps	0.02	MWe/MWe	1	-0.036	0.242	0.794	0.114
Antifreeze Pumping	0.1	fraction					0.062
Power Block Fixed	0.0055	fraction					0.031
Balance of Plant	0.02467	MWe/MWe	1	0.483	0.517	0	0.141
Heater & Boiler	0.02273	MWe/MWe	1	0.483	0.517	0	0.130
Cooling Towers	0.017045	MWe/MWe	1	-0.036	0.242	0.794	0.097

Solar Field Area: 59268.8 m2
 Gross Turbine Output: 5.700 MWe
 Total Design Point Parasitics: 1.214 MWe

Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

2.6.4 Módulo de Resultados del software SAM

2.6.4.1 Resumen (Summary). En la pestaña de Resumen de SAM, se observa la cantidad de energía eléctrica generada anual de la central eléctrica simulado. Véase figura 23.

Figura 23. Resumen de Resultados en SAM

Metric	Value
Annual AC energy (year 1)	345,244,672 kWh
Capacity factor (year 1)	39.5%

Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

2.6.4.2 Tablas de Datos (Data Tables). En la pestaña de Tabla de Datos de SAM, se presentan los resultados detallados de la simulación en forma de tablas. Por ejemplo, en la figura 24 se observa la cantidad de energía eléctrica producida por mes de una central eléctrica.

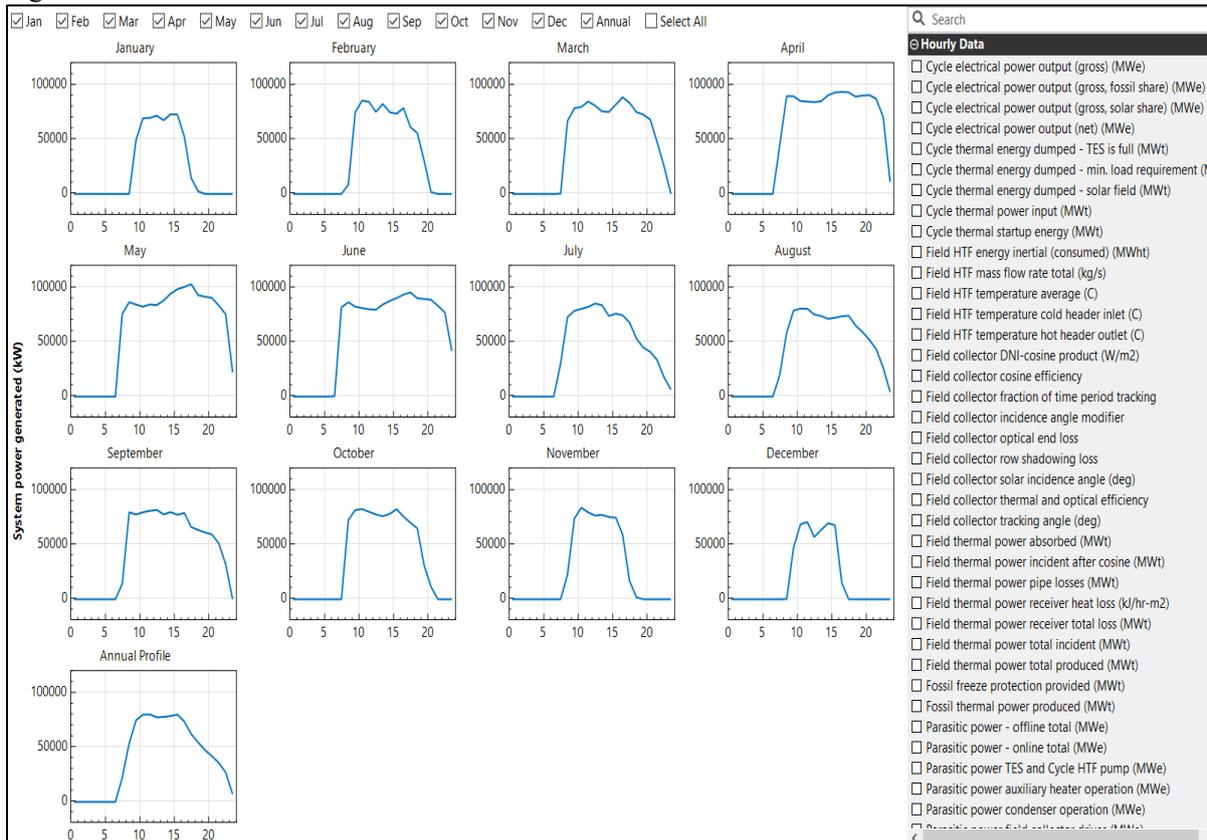
Figura 24. Tabla de datos en SAM

Monthly Data	
	Monthly energy gross (kWh)
Jan	1.58509e+07
Feb	2.11977e+07
Mar	3.27435e+07
Apr	4.03483e+07
May	4.37699e+07
Jun	4.16312e+07
Jul	3.01867e+07
Aug	3.04025e+07
Sep	3.09968e+07
Oct	2.65168e+07
Nov	1.83375e+07
Dec	1.3263e+07

Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

2.6.4.3 Profiles (Perfiles). En la pestaña Perfiles del software SAM, se visualizan gráficamente los resultados horarios obtenidos de la simulación. Por ejemplo, en la figura 25 se muestra la energía eléctrica generada por la central a lo largo de cada hora del día, agrupada por meses.

Figura 25. Tabla de datos en SAM



Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

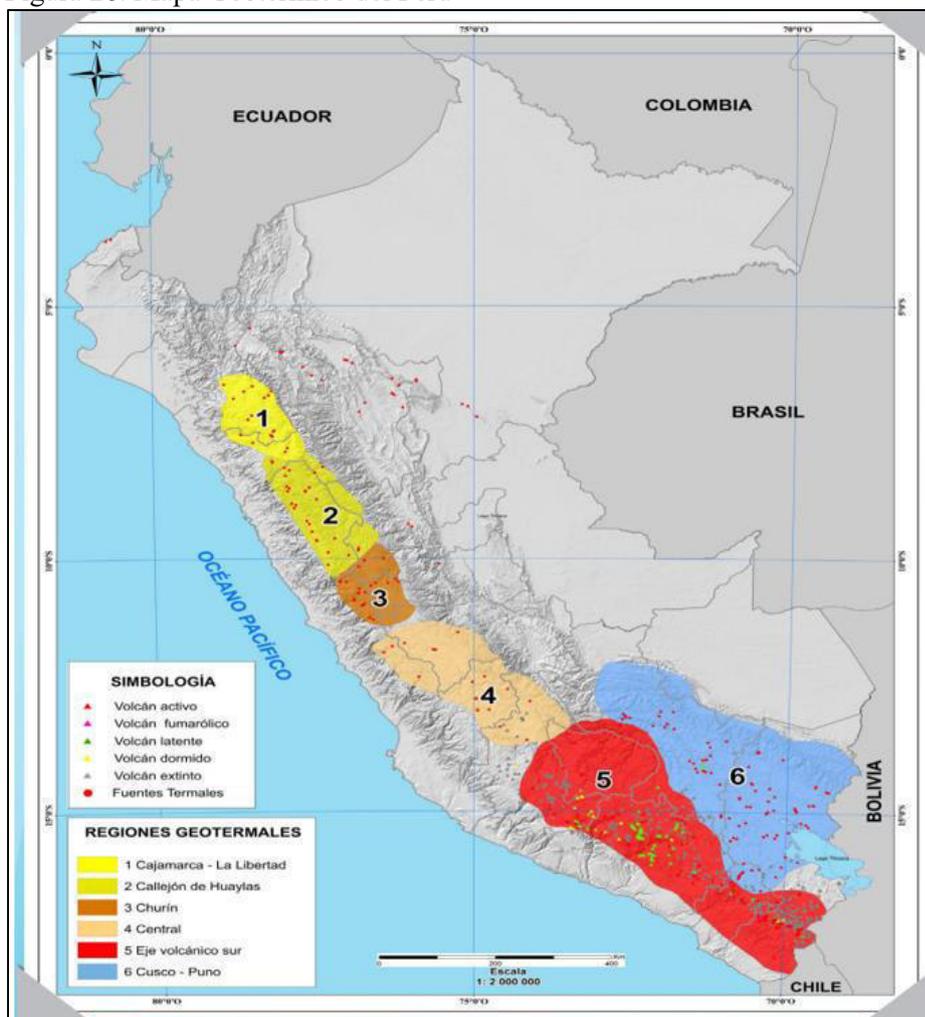
CAPITULO III. RECURSOS DE GENERACION ELECTRICA

3.1 Introducción

En el presente capítulo, se identifican los diferentes recursos de generación eléctrica Renovable no Convencionales, es decir, las tecnologías fotovoltaicas, termosolar, eólica, geotérmica y biomasa, con el propósito de determinar cuál de ellas se adapta de manera más adecuada al Sistema Eléctrico de Ático.

3.2 Potencial Geotérmico del Perú

Figura 26. Mapa Geotérmico del Perú

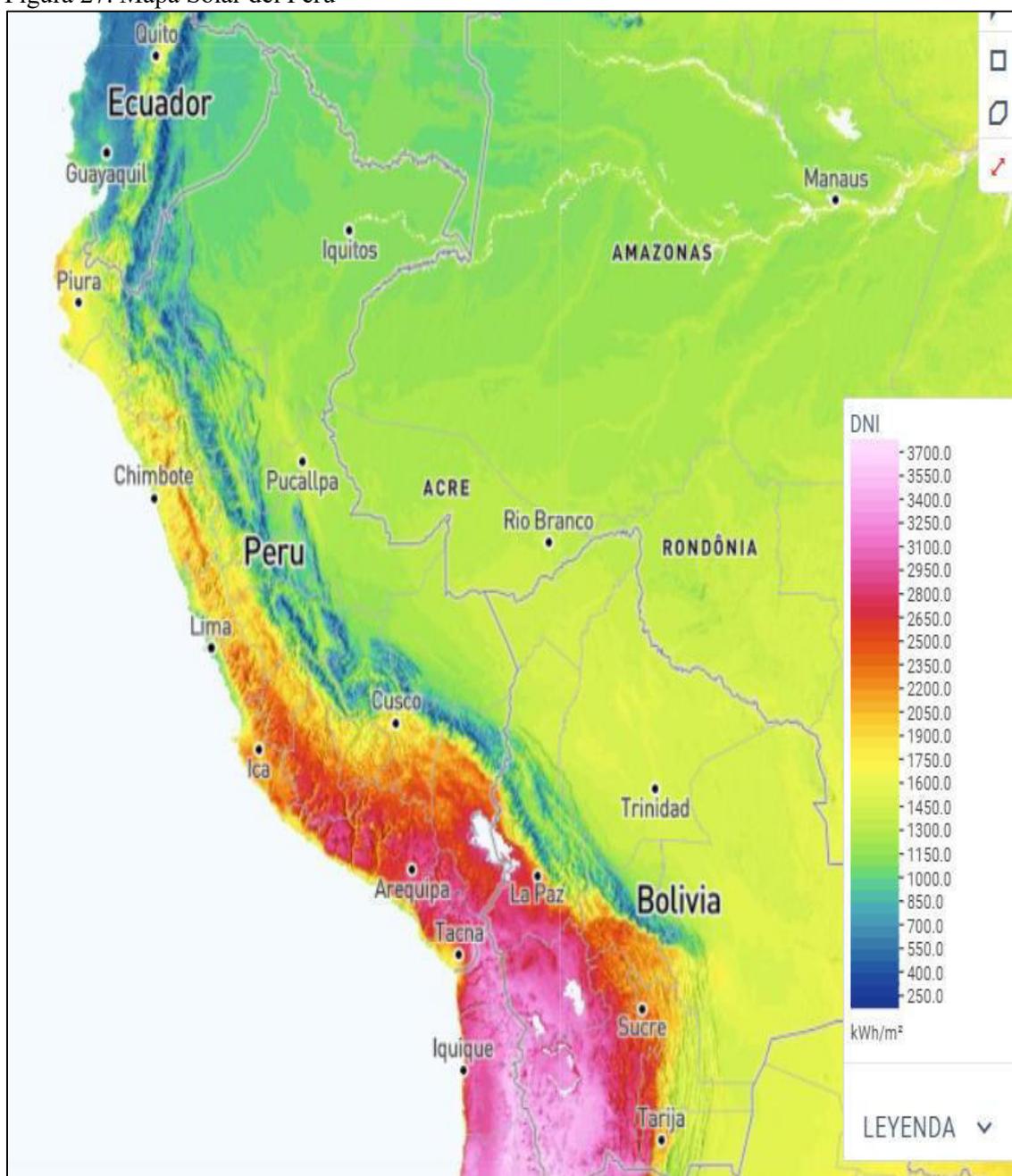


Fuente. Potencial Geotérmico del Perú (2023)

Debido a la presencia de volcanes y fuentes termales, el Perú cuenta con un potencial geotérmico estimado en 3000 MW (Atlas Geotérmico del Perú). Este recurso se encuentra distribuido en seis regiones geotermales, como se muestra en la figura 26, destacando la Región 5, denominada “Eje volcánico sur”, que presenta actividad volcánica y alberga los sistemas geotermales de mayor potencial. El departamento de Arequipa posee un potencial geotérmico en la región geotérmica del Eje Volcánico Sur. Sin embargo, en el Sistema Eléctrico Aislado de Ático se encuentra al borde del Océano Pacífico muy lejano de las zonas geotérmicas, por lo que, resulta inviable el uso de esta tecnología para el Sistema Eléctrico Aislado de Ático.

3.3 Recurso Solar

Figura 27. Mapa Solar del Perú

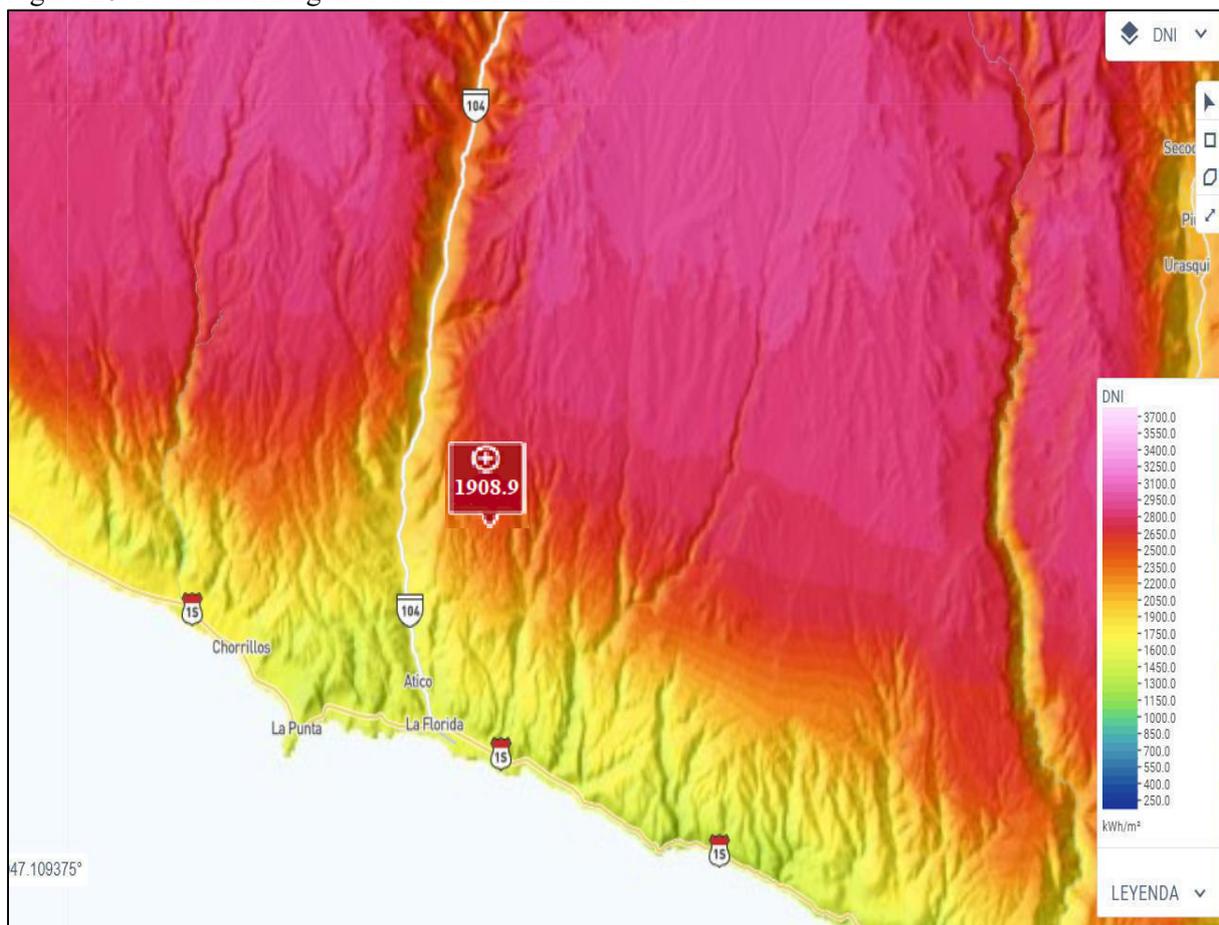


Fuente. Tomado de SolarGis Prospect

Usando el software de potencial solar SolarGis Prospect, en la figura 27 se puede visualizar el potencial energético del Perú, mostrando que la zona sur posee una DNI favorable para la instalación de centrales eléctricas que usan la radiación solar como fuente primaria.

Asimismo, para nuestro caso de estudio que se sitúa en la Latitud -16.2158 y Longitud -73.6157 se puede visualizar en la figura 28 que posee una DNI de 1908.9 kWh/m²-año.

Figura 28. Potencial Energético Solar en la zona de estudio



Fuente. Tomado de SolarGis Prospect

3.3.1 Recurso Solar en una Central Termosolar

En la energía solar térmica de concentración, los lugares que tienen una irradiación solar anual mayores de 1800 kWh/m²-año son adecuadas para la instalación de centrales termosolares. (Greenpeace, 2020). Demostrando técnicamente la instalación de una central termosolar.

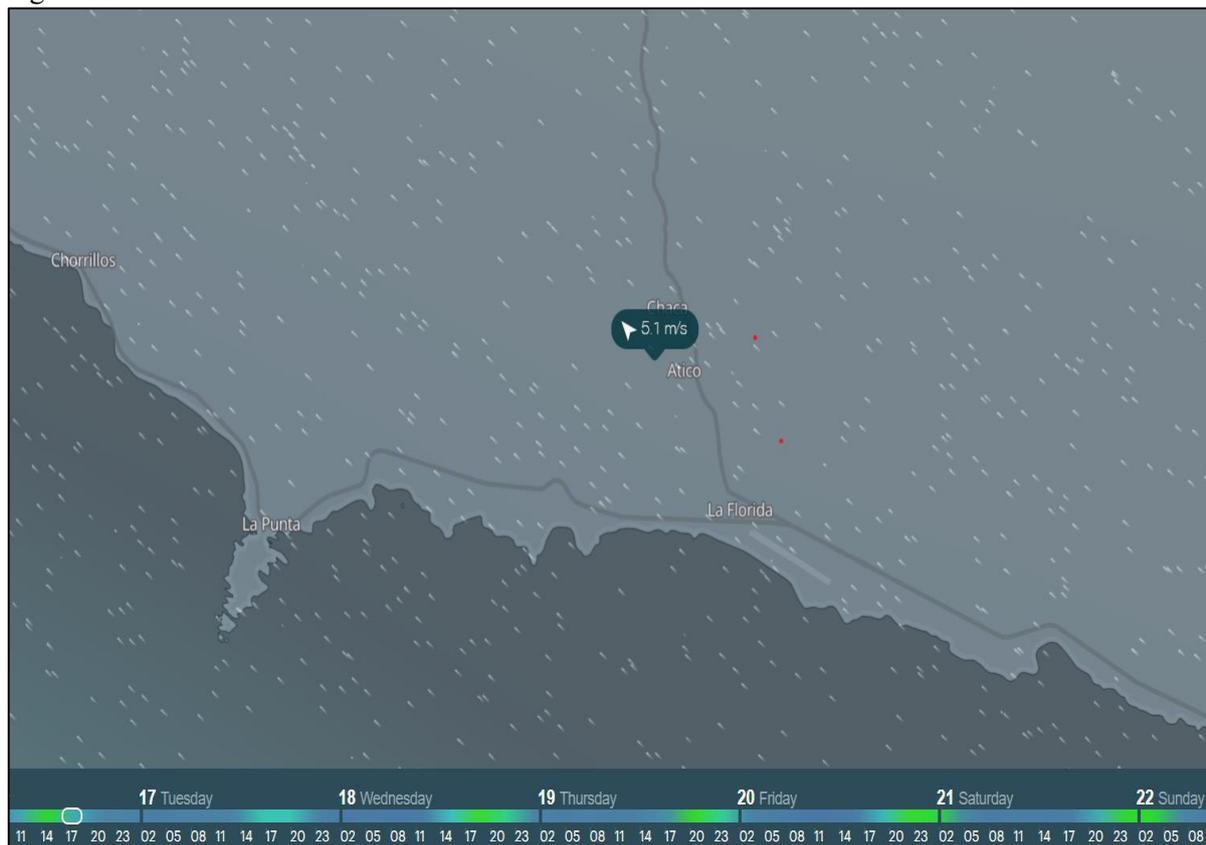
3.3.2 Recurso Solar en una Central Fotovoltaica

La energía solar para una instalación fotovoltaica, en los lugares que tienen una irradiación solar anual entre $1500 - 1800$ kWh/m²-año son adecuadas para la instalación de este tipo de centrales. (Greenpeace, 2020). Demostrando técnicamente la instalación de una central fotovoltaica.

Como se observa en la figura 30 en Ático la velocidad de viento promedio anual es de 5.1 m/s, por lo que la instalación de una central eólica es inviable ya que se necesita como mínimo 6 m/s para su viabilidad técnica.

Además, la energía eólica tiene un patrón intermitente, es un recurso más fluctuante que la solar. Por tanto, la energía solar es una opción relativamente mejor (Asiri y Al-Yahya, 2020).

Figura 30. Velocidad del viento en Ático



Fuente. Tomado de Windy

3.5 Recurso de Biomasa

3.5.1 Cantidad de biomasa disponible por persona

Según estudios de generación de residuos sólidos urbanos:

- Una persona genera entre 0.5 - 1.5 kg de residuos orgánicos por día. (What a Waste 2.0 Banco Mundial, 2022).

3.5.2 Cantidad Total de biomasa

La población en el distrito de Ático según el último censo nacional es de 5215 personas (INEI, 2017). Con ese dato se realiza los cálculos energéticos al año 2023 referencialmente. Considerando que la población de Ático es reducida y no presenta crecimiento acelerado como el de las principales ciudades del país.

- Total, de biomasa: $5215 \text{ personas} \times 1 \text{ kg/día} \times 365 \text{ días} = 1,903,110 \text{ kg/año}$

Para los cálculos consideramos un 1 kg/persona/día de residuos orgánicos y un contenido energético o poder calorífico de 4 kWh/kg de biomasa procesada. (FAO, 2023)

- Total, potencial energético: $1,903,110 \text{ kg/año} \times 4 \text{ kWh/kg} = 7,613,900 \text{ kWh/año}$

El potencial energético: $7,613,900 \text{ kWh/año} \times (\text{año}/8760\text{h}) = 0.869 \text{ MW}$.

3.5.3 Evaluación de Viabilidad

La potencial energético referencial, es decir, la energía bruta contenida en el recurso de biomasa es de 0.869 MW y la potencia demandada por el Sistema Eléctrico de Ático es de 1.315 MW. El potencial energético de la biomasa es menor a la potencia demandada, por tanto, es inviable la generación de energía por medio del recurso de la biomasa.

3.6 Selección del recurso de generación eléctrica

La energía mareomotriz aún no ha alcanzado una implementación comercial significativa. Aunque existen proyectos piloto y en fase de desarrollo, su adopción a gran escala es limitada debido a desafíos técnicos y económicos. (Enel Green Power, 2023). Razón por la cual no se analizó la tecnología mareomotriz.

Después de identificar los recursos renovables no convencionales, las tecnologías viables que suministrarán energía eléctrica al Sistema Eléctrico Aislado de Ático son: Las centrales fotovoltaicas y las centrales termosolares. Es decir, las centrales dependientes del recurso solar.

CAPITULO IV: TECNOLOGIAS DE GENERACION ELECTRICA

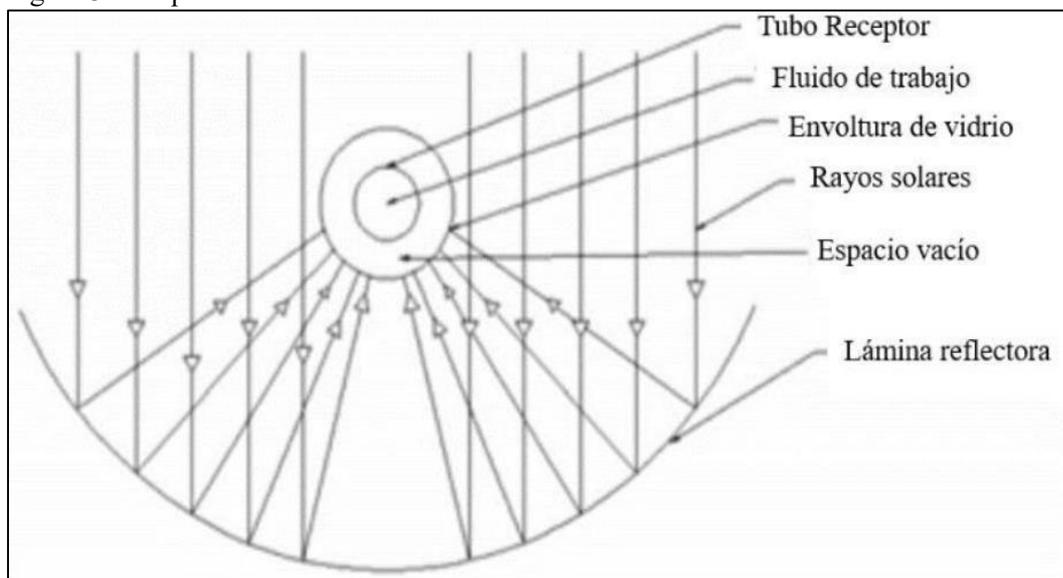
4.1 Introducción

En este capítulo, se identifican las diferentes tecnologías que usan el recurso solar como fuente, destacando sus características principales. Posteriormente, se realiza una comparación para determinar cuál es la más adecuada para su diseño que satisfaga la demanda en el Sistema Eléctrico Aislado de Ático.

4.2 Tecnología Termosolar Colector Cilindro Parabólico (PTC)

Utiliza un reflector, en forma de canal curvo, para enfocar y concentrar la radiación solar en un receptor lineal, como se observa en la figura 21. El receptor lineal del PTC está montado sobre el eje focal de su parábola. Durante el día, el espejo recibe el calor y refleja una gran parte del receptor. El receptor lineal o tubo de absorción es de alta absorptividad. Se pasa un fluido de trabajo adecuado dentro del tubo de absorción para mantener bien el calor. Generalmente, se utiliza aceite sintético como fluido de transferencia de calor. Para el calentamiento eficiente del fluido de trabajo es necesario asegurar su correcta alineación con el punto focal del reflector. (Ibthisum, Muntasir, Zihad, Hasan, Monjurul, 2023). En la figura 31 se observa el esquema de un colector cilindro parabólico.

Figura 31. Esquema de PTC



Fuente: Tomado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666202723001234>

4.2.1 Componentes de la tecnología PTC

4.2.1.1 Reflector PTC. Los reflectores reflejan la radiación solar entrante sobre la superficie del receptor. Se eligen capas de material altamente reflectante para utilizarlas como reflector en los PTC. Los tres tipos básicos de reflectores que se utilizan son:

- Los reflectores de vidrio plateado
- Los reflectores aluminizados
- Los reflectores de polímero plateado

Entre ellos, los reflectores de vidrio plateado proporcionan la mejor reflectancia, mientras que los aluminizados cuestan menos.

4.2.1.2 Receptores PTC. Como su nombre indica, la función del receptor es recibir la radiación solar reflejada y calentar el fluido de su interior. Para la calefacción solar, el receptor consta de tres partes básicas:

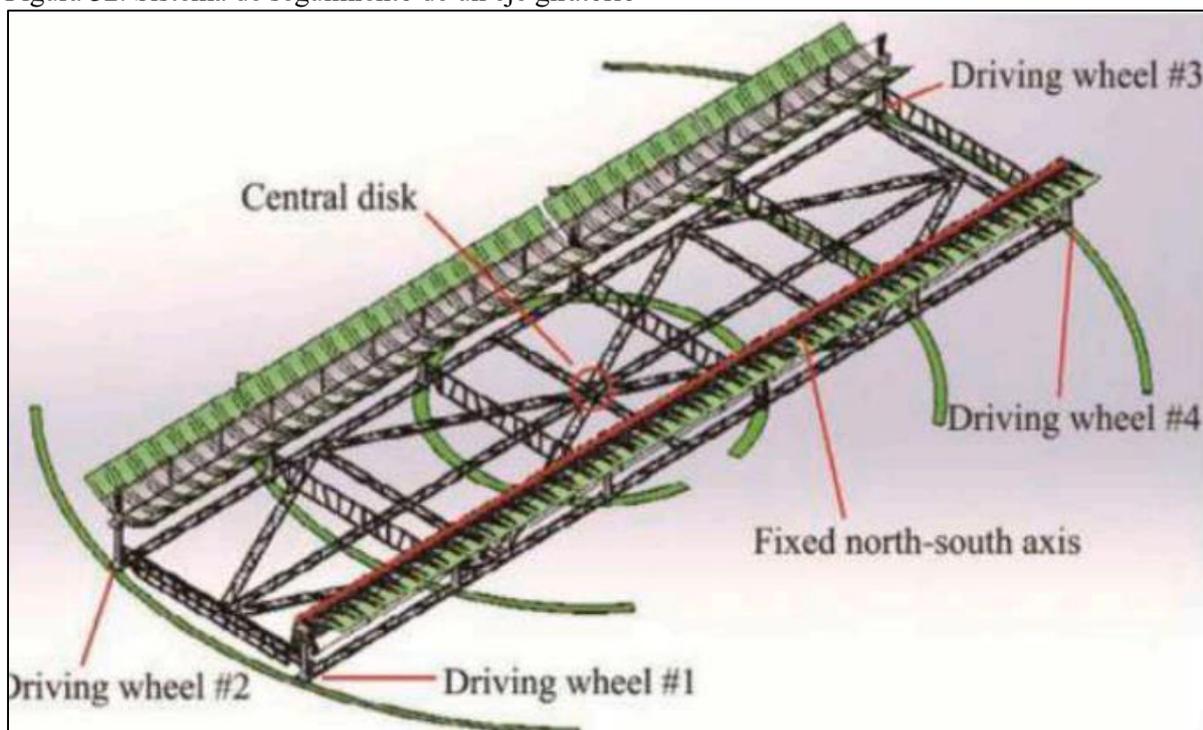
- El tubo receptor
- La envoltura de vidrio
- Revestimiento selectivo

El requisito básico para el material receptor de la tubería es que posea una alta conductividad térmica y una baja expansión térmica y que proporcione una buena resistencia a la corrosión. El acero inoxidable es el receptor de tuberías más utilizado y cumple todos los criterios. El cobreobjetos debe tener propiedades de alta transmitancia y también debe tener baja reflectancia y bajo índice de refracción. El recubrimiento selectivo se utiliza en el exterior de la tubería para absorber eficazmente el flujo de calor.

4.2.1.3 Sistema de Seguimiento PTC. Un sistema de un eje giratorio es una estructura con dos accionamientos mecánicos colocados en la parte superior y cuatro ruedas motrices cementadas en las cuatro esquinas inferiores para generar la fuerza necesaria para la rotación horizontal.

Los PTC se puede disponer en dirección este-oeste o norte-sur. Sin embargo, el seguimiento norte-sur es más común porque en este sistema la apertura al mediodía mira hacia el sol la mayor parte del tiempo y se requiere poco ajuste del colector durante el día. En la figura 32 se aprecia el sistema de seguimiento de un eje giratorio para los colectores cilindros parabólicos.

Figura 32. Sistema de seguimiento de un eje giratorio



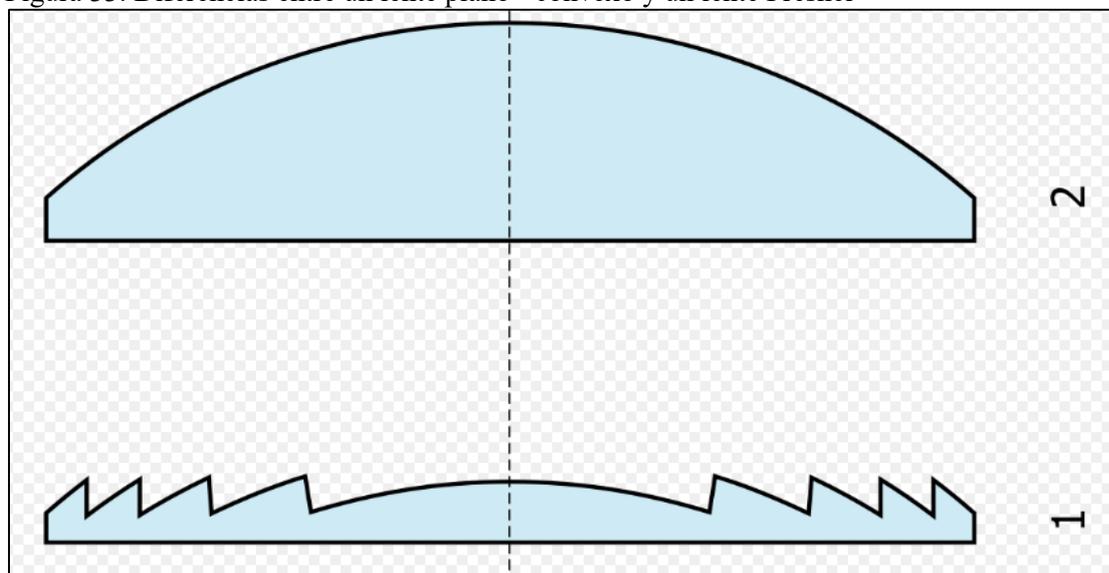
Fuente: Tomado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666202723001234>

4.3 Tecnología Termosolar Reflector Lineal de Fresnel (LFR)

Aunque el LFR fue la última tecnología introducida entre las tecnologías termosolares, llamó rápidamente la atención debido a su diseño menos complicado y su bajo costo de inversión. El LFR se utiliza principalmente para generación de temperatura media a alta (mayores a 500 °C).

Los lentes de Fresnel tienen la función para que los rayos de luz se focalicen en un punto al igual que las lentes planas – convexas con la ventaja que tienen una dimensión reducida. Véase la figura 33.

Figura 33. Diferencias entre un lente plano - convexo y un lente Fresnel



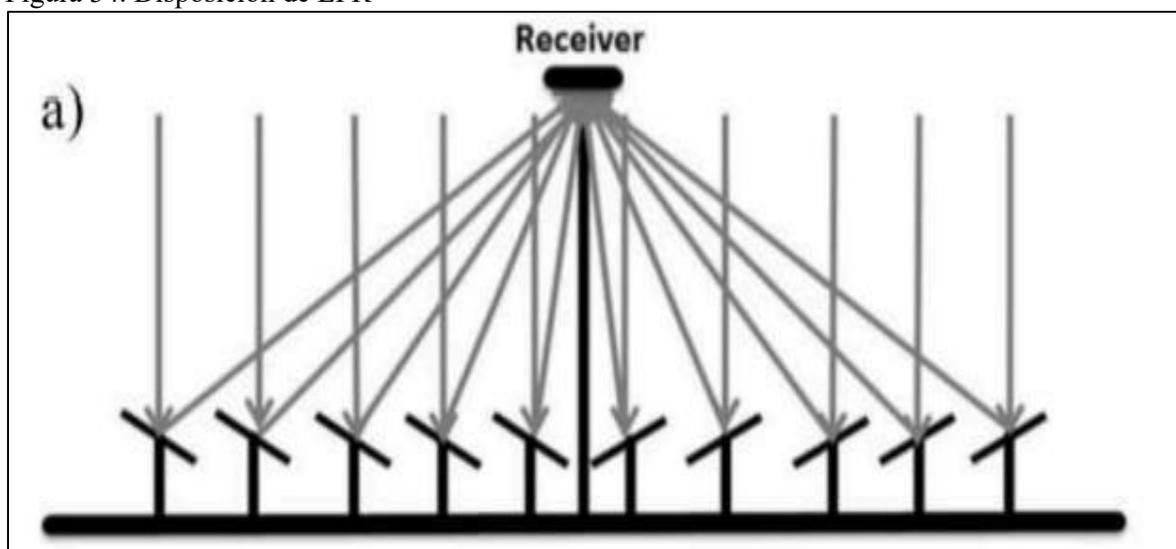
Fuente: Tomado de <https://www.venoptix.com/lupa-fresnel/>

El diseño de las LFR incluye un conjunto de receptores fijos y una colección de espejos planos o curvos que actúan como superficie reflectante principal con un mecanismo de seguimiento de un solo eje. La mayor pérdida óptica es el principal inconveniente de los reflectores planos. Este problema se puede mitigar mediante el uso de reflectores curvos, que son principalmente de forma parabólica, proporcionando una mayor eficiencia óptica. Los tubos de vacío se utilizan principalmente como receptores. La utilización de un reflector secundario encima del receptor también es recurrente en la literatura para garantizar una mayor eficiencia. Como reflectores secundarios se utilizan principalmente concentradores parabólicos compuestos (CPC). Tradicionalmente, el fluido de trabajo empleado principalmente en LFR es agua, pero el uso de aceites térmicos y sales fundidas también está aumentando, ya que proporcionan mayor diferencia de temperatura, y, por ende, mayor eficiencia.

4.3.1 Componentes de la tecnología LFR

4.3.1.1 Reflector Primario. Los reflectores primarios se encuentran principalmente en la base del sistema LFR, en la Figura 34 ilustra el diseño del reflector primario. En este diseño, todos los espejos tienen el ángulo de inclinación necesario para enfocar eficazmente la radiación solar en el receptor, que está situado en el centro del campo solar.

Figura 34. Disposición de LFR

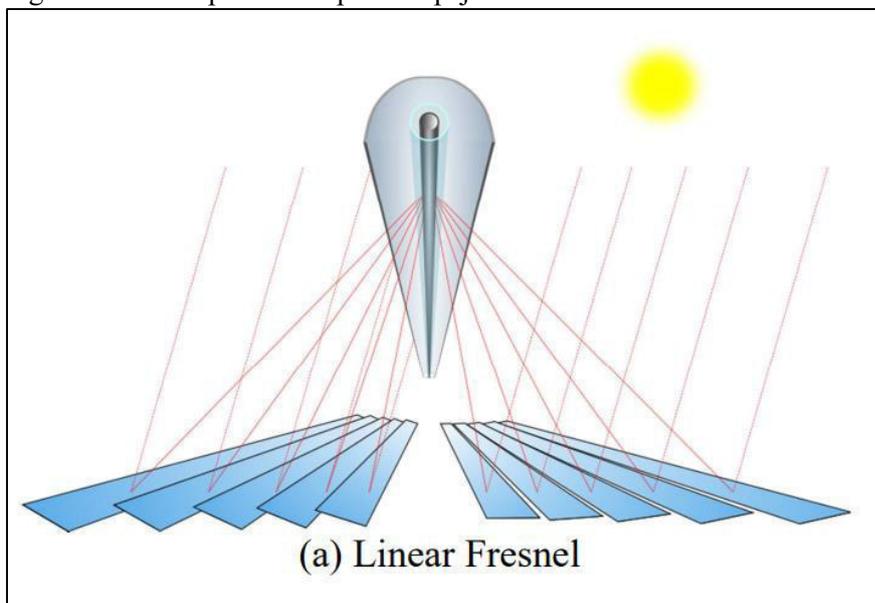


Fuente: Tomado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666202723001234>

4.3.1.2 Receptor de tubo de vacío y reflectores secundarios. Los receptores tubulares básicos fueron la sugerencia inicial en las primeras etapas del diseño del receptor LFR. En el siguiente paso de progresión, para obtener temperaturas más altas (alrededor de 500°C), se consideraron tubos al vacío. Por otra parte, el empleo de tubos de vacío individuales no produce una gran eficiencia. Con frecuencia se recomienda el uso de reflectores secundarios

porque conduce a un factor de intercepción más alto. En la mayoría de las investigaciones se prefieren concentradores parabólicos compuestos (CPC) como reflectores secundarios que se ubican encima de los reflectores primarios, véase la figura 35.

Figura 35. Concepto de campo de espejo elevado

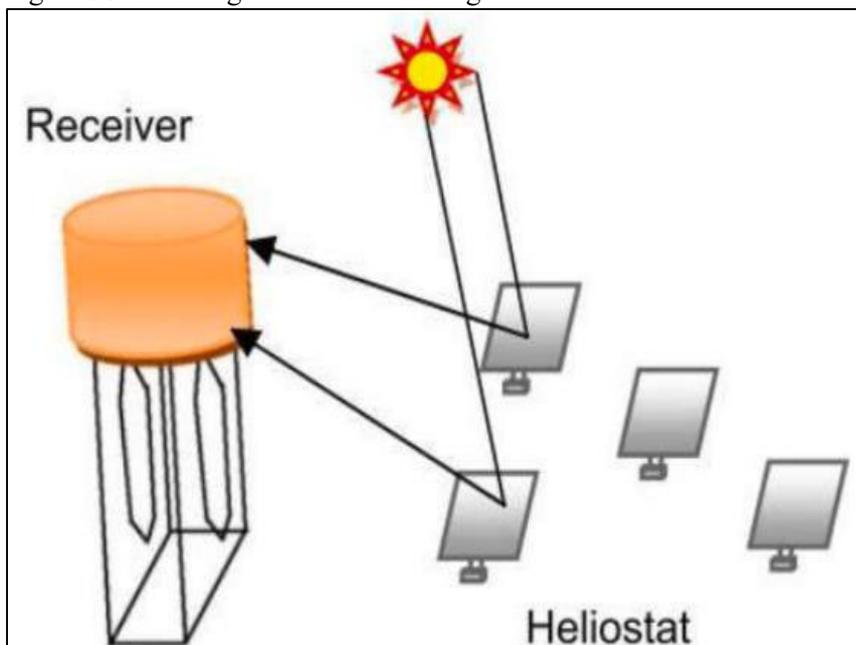


Fuente: Tomado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261918314648>

4.4 Tecnología Termosolar de Torre de Energía Solar (SPT)

En la figura 36 se puede observar que la tecnología de torre de captación solar se compone principalmente de dos elementos: los heliostatos, que son espejos encargados de dirigir la energía solar hacia un receptor ubicado en una torre, donde la radiación solar se convierte en energía térmica para generar electricidad.

Figura 36. Tecnología de Torre de Energía Solar

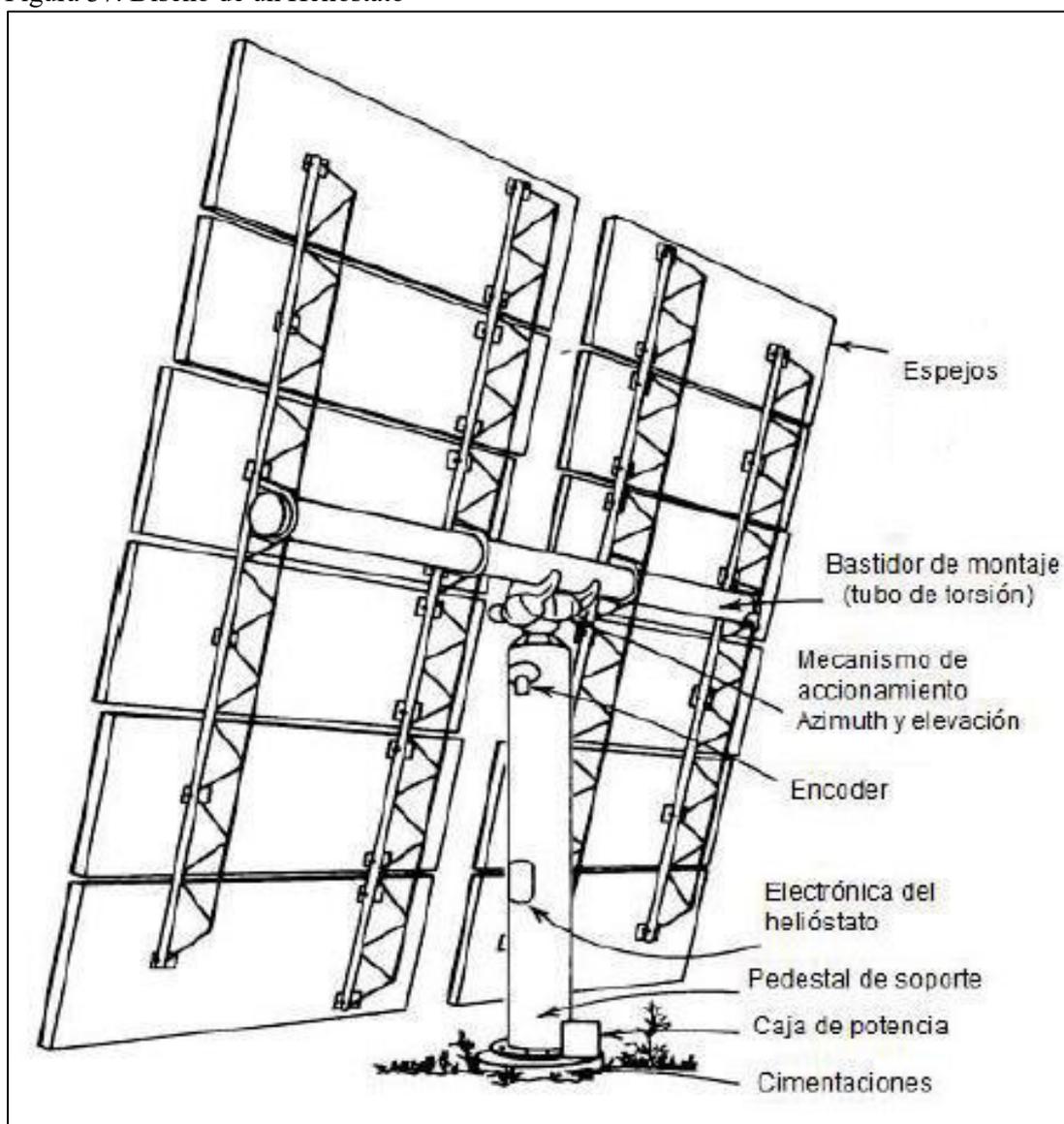


Fuente: Tomado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666202723001234>

4.4.1 Partes de la tecnología de Torre de Energía Solar

4.4.1.1 Heliostatos. Un heliostato es un espejo controlado por computadora que rastrea la luz solar incidente y la refleja hacia un receptor. El rendimiento óptico de un heliostato influye significativamente en el rendimiento de un sistema receptor de torre solar. Los heliostatos grandes requieren menos piezas y cimientos que los heliostatos más pequeños, mientras que los heliostatos pequeños enfrentan una velocidad del viento mucho menor debido a la altura reducida y pueden tener un peso menor por área de espejo. En la figura 37, representa el diseño de un heliostato.

Figura 37. Diseño de un Heliostato

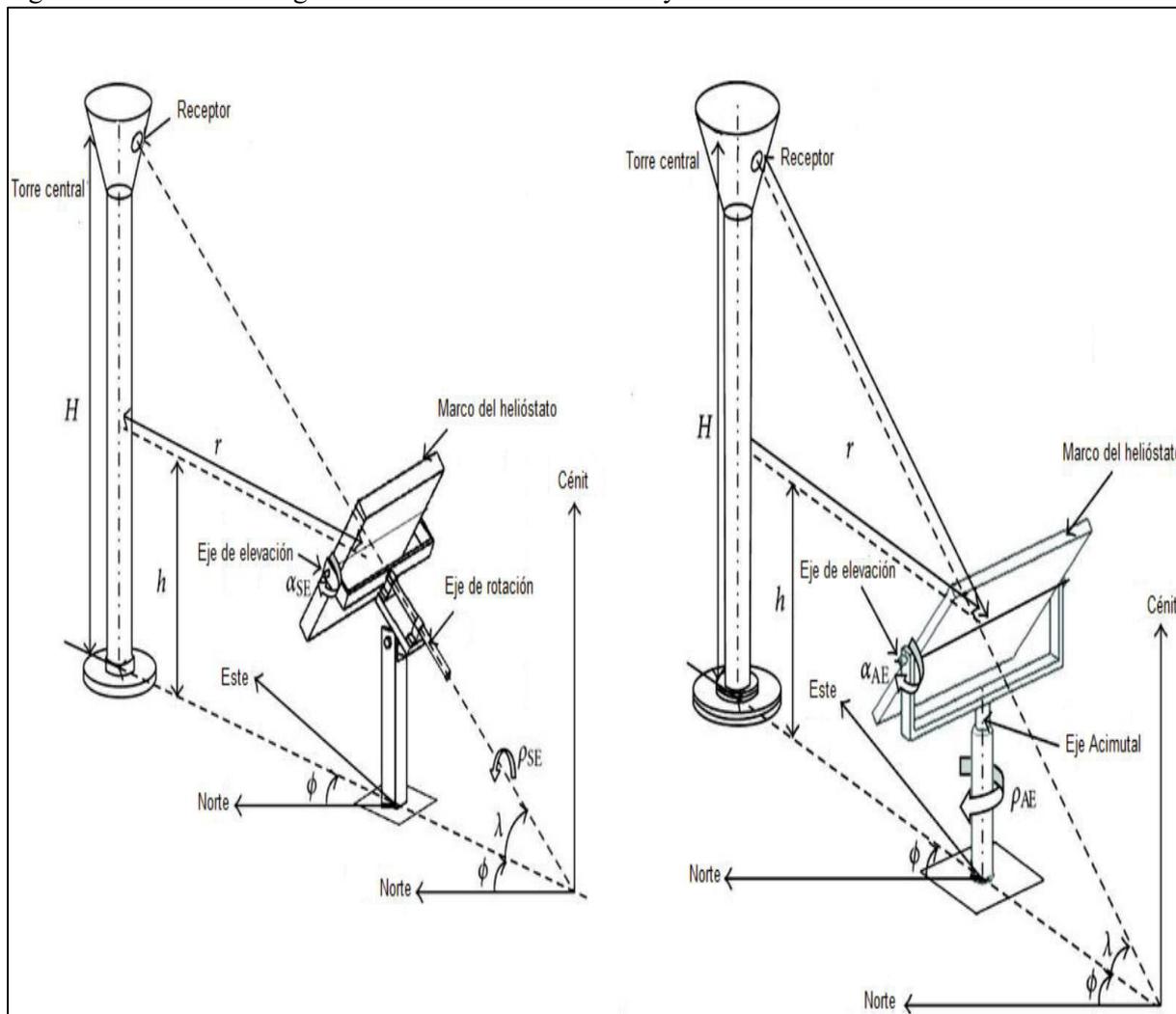


Fuente: Tomado de García P. (2013) Análisis de las pérdidas térmicas en un receptor de cavidad, en instalación solar de torre central.

4.4.1.2 Sistema de Seguimiento y Control. Se dividen en dos categorías: bucle cerrado o bucle abierto. El sistema de bucle abierto está controlado por un ordenador que utiliza su geometría y fórmulas astronómicas relacionadas con la ubicación del sol. El sistema de bucle cerrado utiliza el sensor de seguimiento del sol, Rotación - elevación (S-E) y azimuth - elevación

(A-E) son las técnicas de seguimiento del sol utilizadas en la Torre Central. En la figura 38 se representa el sistema de seguimiento de un heliostato.

Figura 38. Métodos de seguimiento Rotación - Elevación y Acimut - Elevación

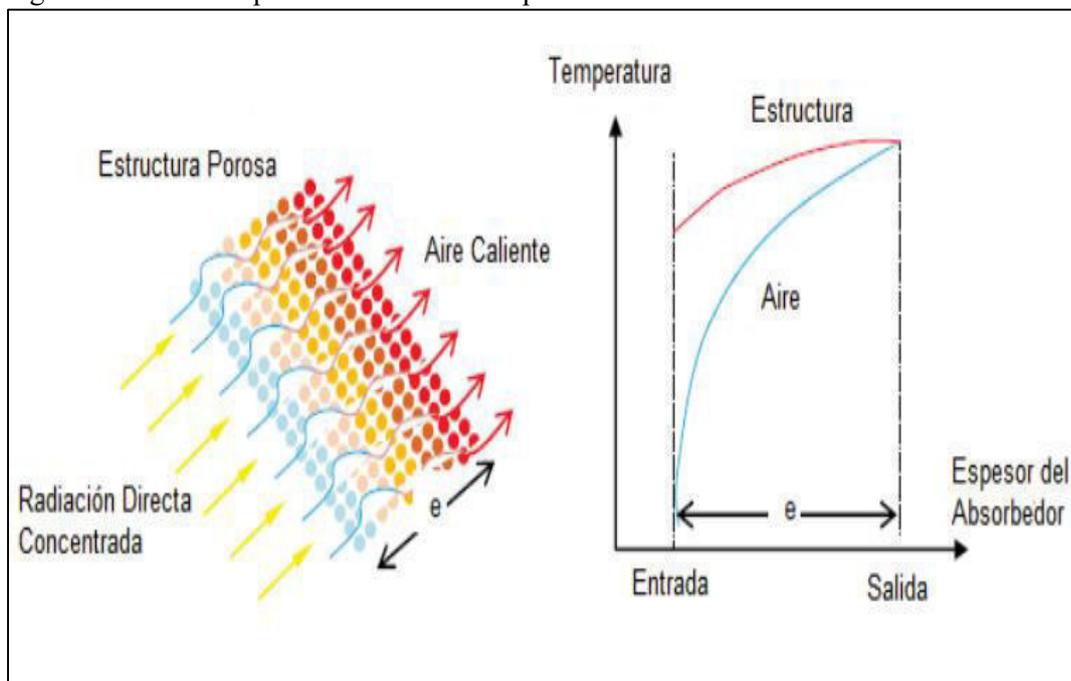


Fuente: Tomado de García P. (2013) Análisis de las pérdidas térmicas en un receptor de cavidad, en instalación solar de torre central.

4.4.1.3 Receptores Volumétricos. Los receptores volumétricos ofrecen una estructura de receptor compacta que generalmente comprende absorbentes de metal o cerámica con estructuras o canales alveolares porosos. La radiación concentrada llega a la profundidad de las estructuras porosas, lo que calienta el material absorbente. El HTF (generalmente aire) se calienta por convección forzada mientras fluye a través del volumen del receptor, la formación porosa puede alcanzar hasta 1000°C e incluso puede subir a 1200°C para cerámica SiSiC y 1500°C para receptores fabricados en SiC (carburo de silicio). Los receptores volumétricos funcionan mejor sin una cubierta de vidrio si la temperatura de funcionamiento del receptor es inferior a 600°C . Emplear una cubierta de vidrio en ese caso aumenta la Pérdidas reflectantes. No obstante, para aplicaciones de temperatura más alta (más de 600°C), la pérdida de calor debida a la radiación del absorbente calentado excede la pérdida reflectante de la

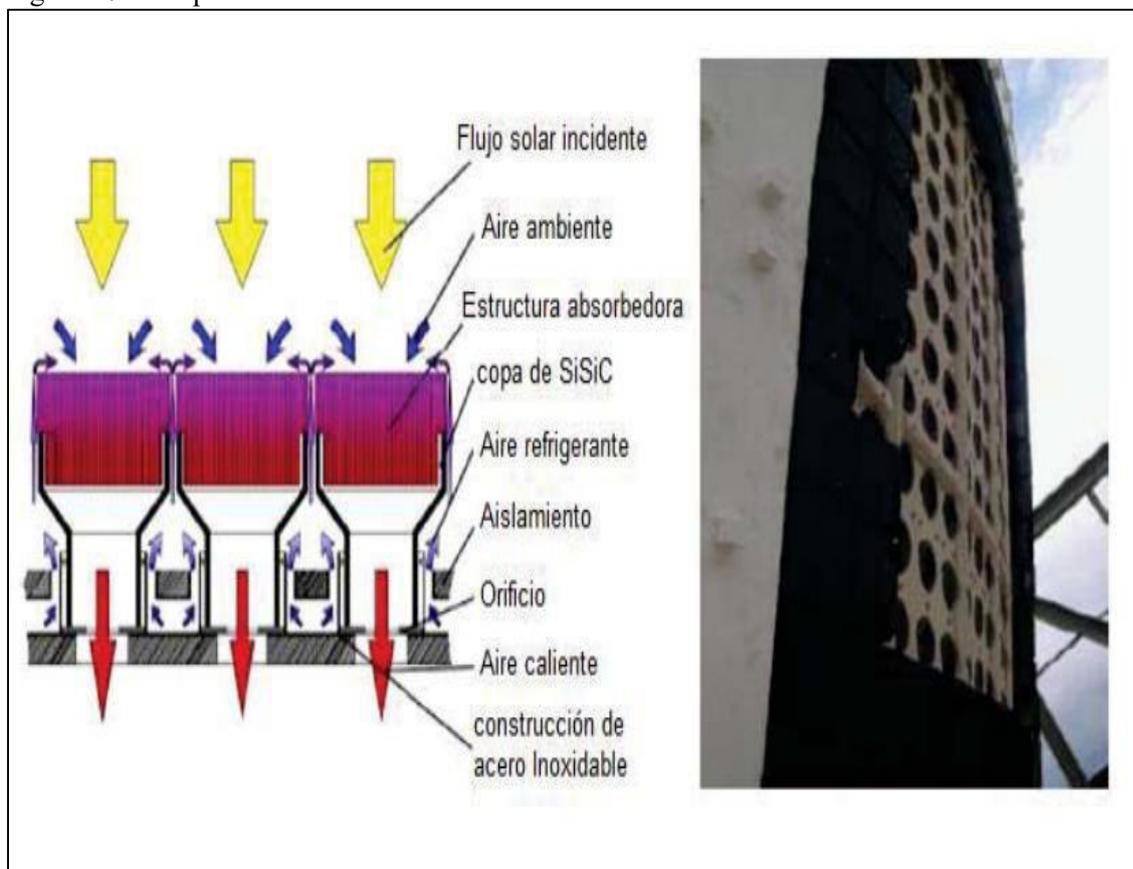
cubierta de vidrio. Por lo tanto, se debe integrar una cubierta de vidrio para un mejor rendimiento en aplicaciones de alta temperatura. Las figuras 39 y 40 representa el efecto de paso del aire y las partes del receptor volumétrico respectivamente.

Figura 39. Efecto de paso de aire en un receptor volumétrico



Fuente: Tomado de García P. (2013) Análisis de las pérdidas térmicas en un receptor de cavidad, en instalación solar de torre central.

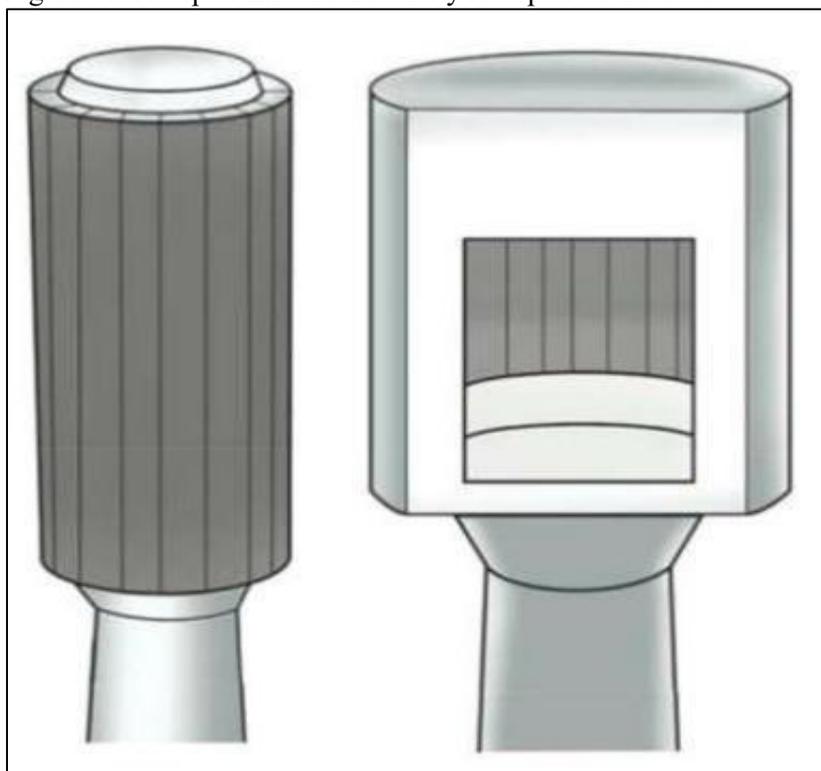
Figura 40. Receptor Volumétrico



Fuente: Tomado de García P. (2013) Análisis de las pérdidas térmicas en un receptor de cavidad, en instalación solar de torre central.

4.4.1.4 Receptores Tubulares. Los receptores tubulares suelen comprender una disposición de múltiples tubos estrechos hechos de metal aleado o acero inoxidable que gobiernan el fluido de trabajo del sistema SPT. El HTF fluye a través de los tubos receptores irradiados e intercambia calor con otro medio de trabajo o se transporta directamente al bloque de energía. Los receptores tubulares de líquido típicos se pueden dividir en receptores externos y receptores de cavidad, como se muestra en Figura 31. En receptores externos, La disposición de los tubos no está encerrada en una cavidad. Sin embargo, si la temperatura de trabajo es superior a 650°C , se puede utilizar un sobre de vidrio para reducir la pérdida de calor por radiación. La radiación concentrada cae directamente sobre la superficie del receptor, que a su vez intercambia calor con el fluido de trabajo. Los receptores externos sufren una mayor pérdida de calor por radiación que los receptores de cavidad, pero tienen una menor pérdida de calor por convección. En los receptores de cavidad, el receptor tubular se coloca dentro de un recinto con una abertura, que se denomina cavidad. La radiación concentrada se dirige hacia el área de apertura del recinto. La radiación pasa a través de la abertura y luego es absorbida por la superficie receptora dentro de la cavidad. Cuando el receptor se coloca dentro de un recinto, la radiación de la superficie del absorbente se mantiene dentro de la cavidad. Por lo tanto, la pérdida radiactiva al medio ambiente es insignificante, pero se produce una pérdida considerable de calor por convección en el área de apertura. La temperatura de salida ha sido de aproximadamente 600°C para receptores tubulares. (Ibthisum, et.al. 2023). En la figura 41 se observa los dos tipos de receptores tubulares.

Figura 41. Receptor Externo Tubular y Receptor de Cavidad



Fuente: Tomado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666202723001234>

4.5 Tecnología Fotovoltaica

Los sistemas fotovoltaicos son tecnologías que convierten la energía solar en electricidad de manera directa mediante el efecto fotovoltaico. Están compuestos por un grupo de componentes que permiten captar la radiación solar, transformarla en energía eléctrica, y adecuarlo para su uso o almacenamiento. Estos sistemas pueden ser conectados a la red (on-grid) o funcionar de manera aislada (off-grid). En la figura 42 se puede observar su funcionamiento.

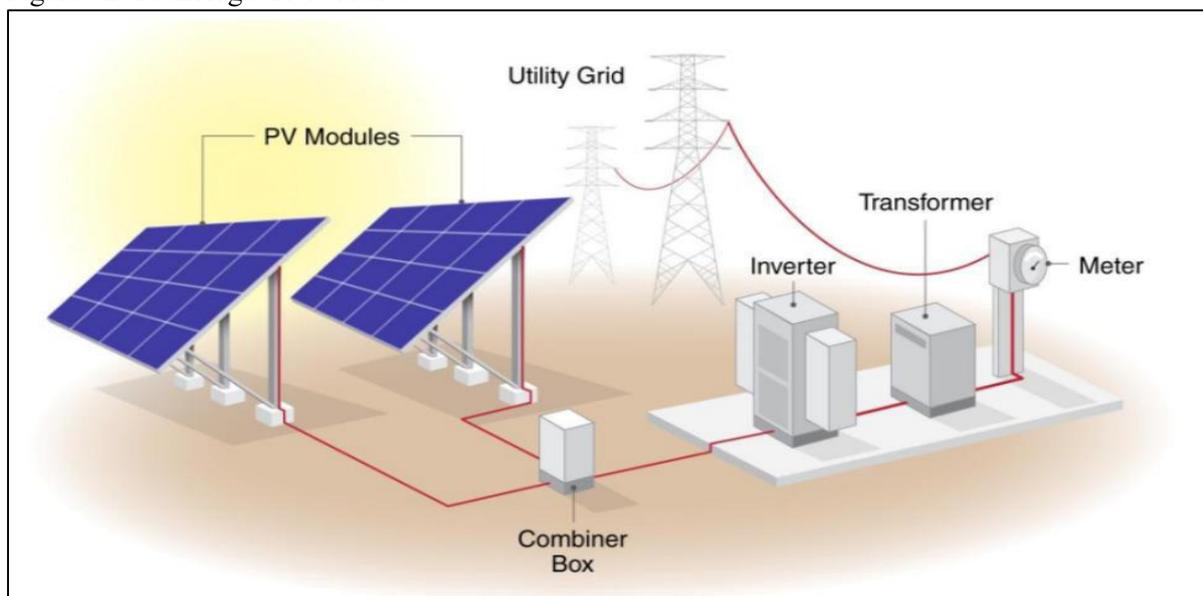
4.5.1 Partes de una tecnología fotovoltaica

4.5.1.1 Módulos o paneles solares. Los módulos solares son los encargados de convertir la radiación solar en energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico. Están formados por celdas semiconductoras, generalmente de silicio, que al recibir la luz solar liberan electrones y generan corriente continua. La eficiencia, durabilidad y calidad de estos módulos determinan en gran medida el rendimiento del sistema.

4.5.1.2 Inversores. Los inversores son dispositivos que convierten la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna. Además, los inversores regulan la tensión y la frecuencia de salida para garantizar un suministro estable y seguro. En sistemas conectados a la red, también sincronizan la energía generada con la red eléctrica.

4.5.1.3 Sistemas de Almacenamiento de Baterías. El almacenamiento de energía es fundamental para los sistemas fotovoltaicos aislados. Las baterías permiten acumular la energía generada durante las horas de sol para ser utilizada durante la noche o en días nublados.

Figura 42. Tecnología fotovoltaica



Fuente: Tomado del Laboratorio de Energías Renovables (NREL)

4.6 Comparación de las Tecnologías de generación eléctrica

Primeramente, comparamos las tecnologías termosolares con las fotovoltaicas, que indican lo siguiente: Primeramente, se realiza una comparación entre las tecnologías termosolares y fotovoltaicas, destacando los siguientes aspectos:

- La capacidad de almacenamiento de energía térmica (TES) de las tecnologías CSP las hace despachables, lo cual es un gran punto a favor de las CSP sobre la tecnología fotovoltaica (Asiri y Al-Yahya, 2020).
- En las centrales fotovoltaicas usan las baterías de ion litio que almacenan la energía en forma química para posteriormente convertirlos en energía eléctrica. Sin embargo, su capacidad de almacenamiento es limitada, permitiendo suministrar energía solo por unas pocas horas después de la puesta en sol. A diferencia del almacenamiento térmico en las centrales termosolares que pueden generar electricidad en periodos más prolongados, permitiendo el uso incluso durante la noche (IEA,2023).

En ese sentido, se propone el diseño de una central termosolar, y en la Tabla 8 se presenta la comparación entre sus distintas configuraciones o tipos.

Tabla 8. Comparativa de las tecnologías termosolares

	Colectores Cilindro Parabólicos	Colectores Lineales Fresnel	Receptor Central en Torre
Eficiencia anual (%)	15	8-10	20-35
Almacenamiento en Sales Fundidas	Probado comercialmente	Posible, aunque no probado	Probado Comercialmente
Temperatura de operación del campo solar probado comercialmente (°C)	290-390	250-390	250-500
Fluido de trabajo	Aceite Sintético Agua/Vapor Sales Fundidas, (en estudios)	Agua/Vapor Aceite Sintético, (en estudios) Sales Fundidas, (en estudios)	Agua/Vapor Sales Fundidas Aire, (en estudios)
Estado de Desarrollo	Más Maduro	Demostración	Maduro
Hibridación	Si	Si	Si

Riesgo por la aplicación de la tecnología	Bajo	Medio	Medio
Coste de Inversión (\$/kw)	3000-6500	2500-5500	4000-6000
Área solicitada (m ² /MWh)	4-6	6-8	8-12
Modularidad/Escalabilidad	Si	Si	No

Fuente: Tomado de Arrieta E. (2020), Diseño y Análisis básico de una central solar térmica

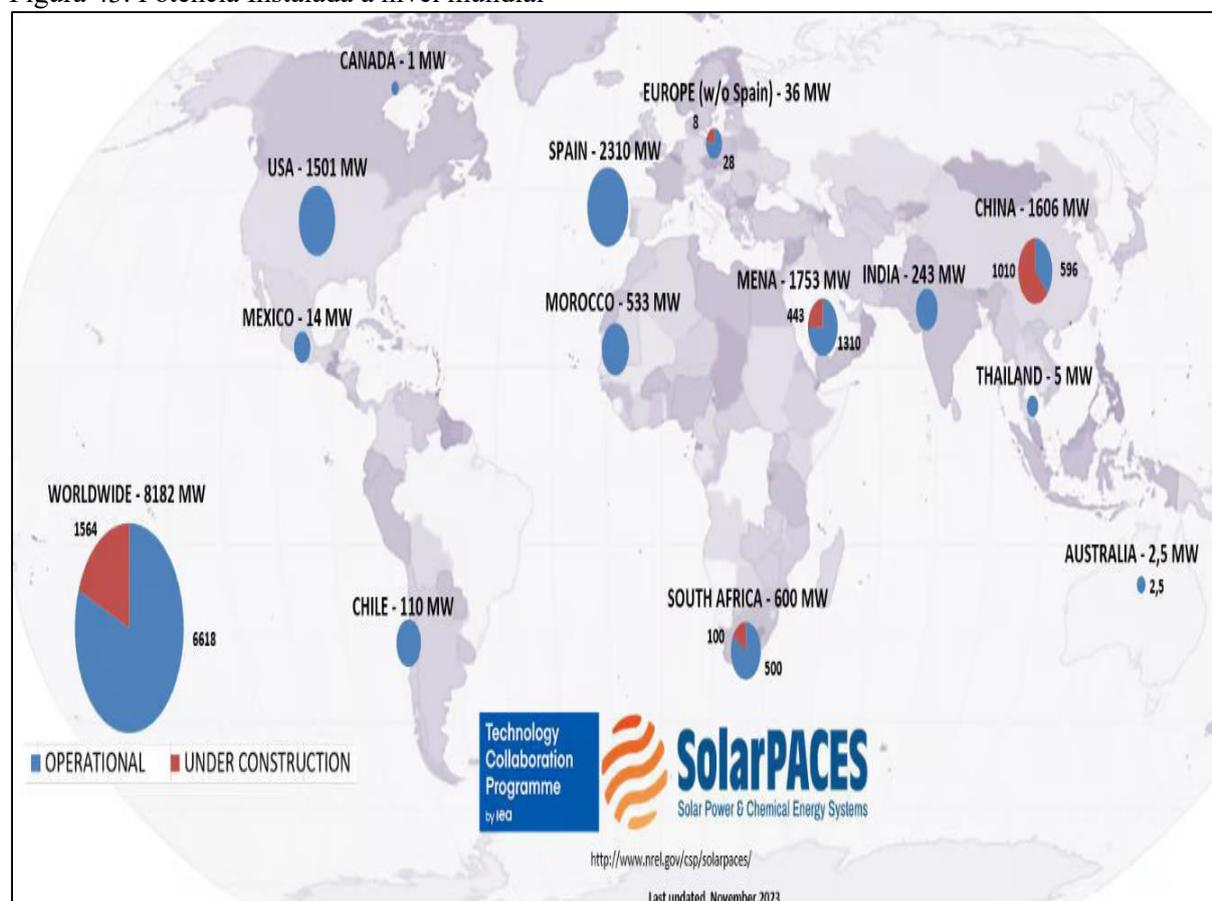
A noviembre del 2023, a nivel mundial, las tecnologías termosolares se encuentran implementadas como se muestra en la tabla 9. Existe 6618 MW en operación y 1564 MW en construcción como se observa en la figura 43.

Tabla 9. Estado de la tecnología termosolar a nivel mundial

CENTRALES TERMOSOLARES	EN OPERACIÓN	EN CONSTRUCCION	EN DESARROLLO	NO OPERATIVA
TORRE CENTRAL	24	4	6	4
CILINDRO-PARABOLICO	88	6	3	5
LINEAL FRESNEL	9	2	1	4
TOTAL	121	12	10	13

Fuente: Elaboración propia con información de SolarPACES

Figura 43. Potencia Instalada a nivel mundial



Fuente: Tomado de SolarPACES

Los colectores cilindro parabólicos son la tecnología más madura de concentración y se utilizan en la mayoría de las operaciones centrales termosolares como se observa en la tabla 9. Según la tabla 8, la central con mayor desarrollo, con escalabilidad y con almacenamiento en sales fundidas probado comercialmente es la de Colectores Cilindros Parabólicos. Ciertamente, el Receptor Central en Torre, tiene una eficiencia anual probada mayor, pero no tiene escalabilidad y aún existe riesgo tecnológico para su aplicación. En ese entender se selecciona la tecnología de cilindros parabólicos para su diseño.

CAPITULO V. DISEÑO DE UNA CENTRAL TERMOSOLAR DE CILINDROS PARABOLICOS

5.1 Introducción

En el presente capítulo, se desarrolla el dimensionamiento de la central termosolar de cilindros parabólicos para realizar su posterior simulación en SAM. Asimismo, se realiza un análisis de la producción de energía eléctrica.

5.2 Punto de Diseño

Para la selección del punto de diseño, se consideraron los solsticios y equinoccios, por representar las condiciones extremas y de equilibrio del recurso solar a lo largo del año. Las fechas correspondientes se detallan en la Tabla 10.

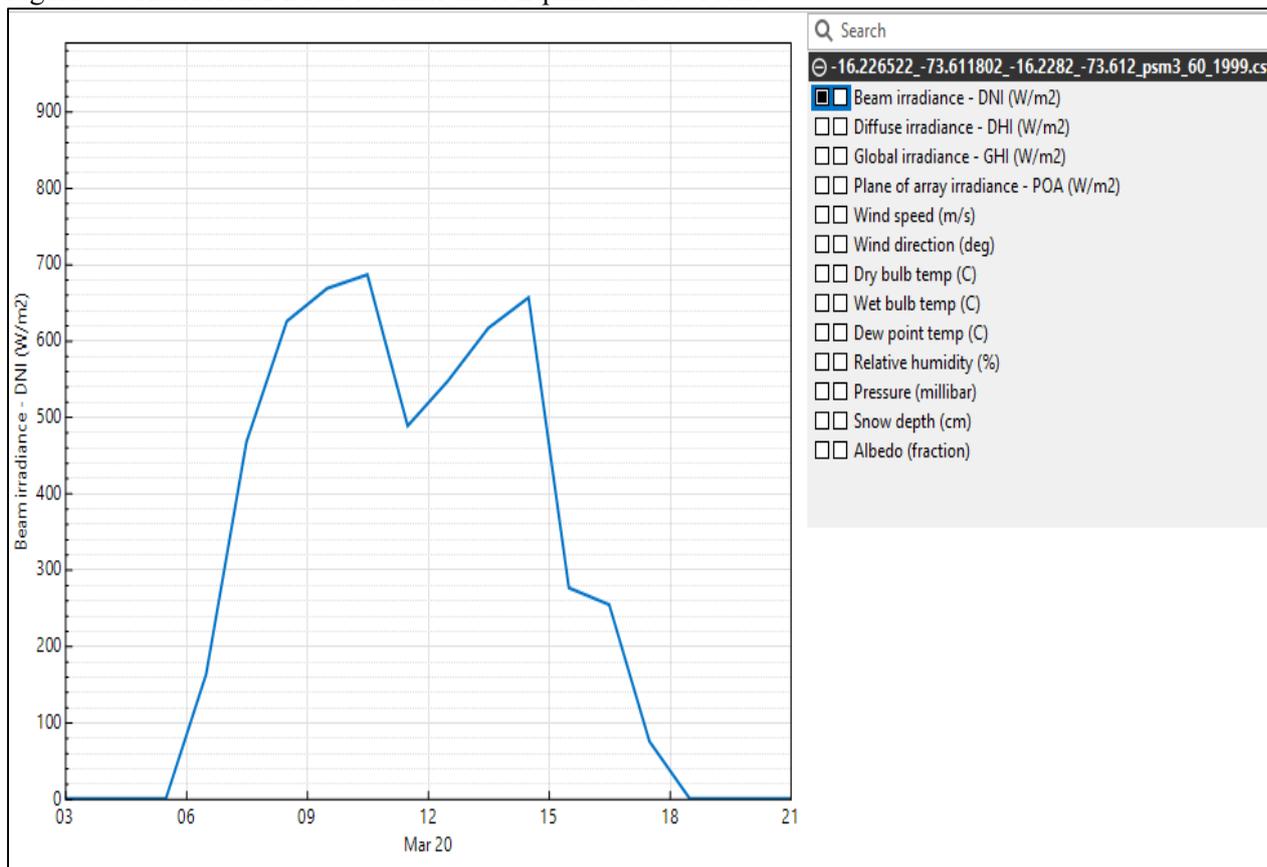
Tabla 10. Eventos Astronómicos

Fecha	Evento
21 de junio	Solsticio de invierno
23 de setiembre	Equinoccio de primavera
21 de diciembre	Solsticio de verano
20 de marzo	Equinoccio de otoño

Fuente. Elaboración propia a partir de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/que-es-solsticio/>

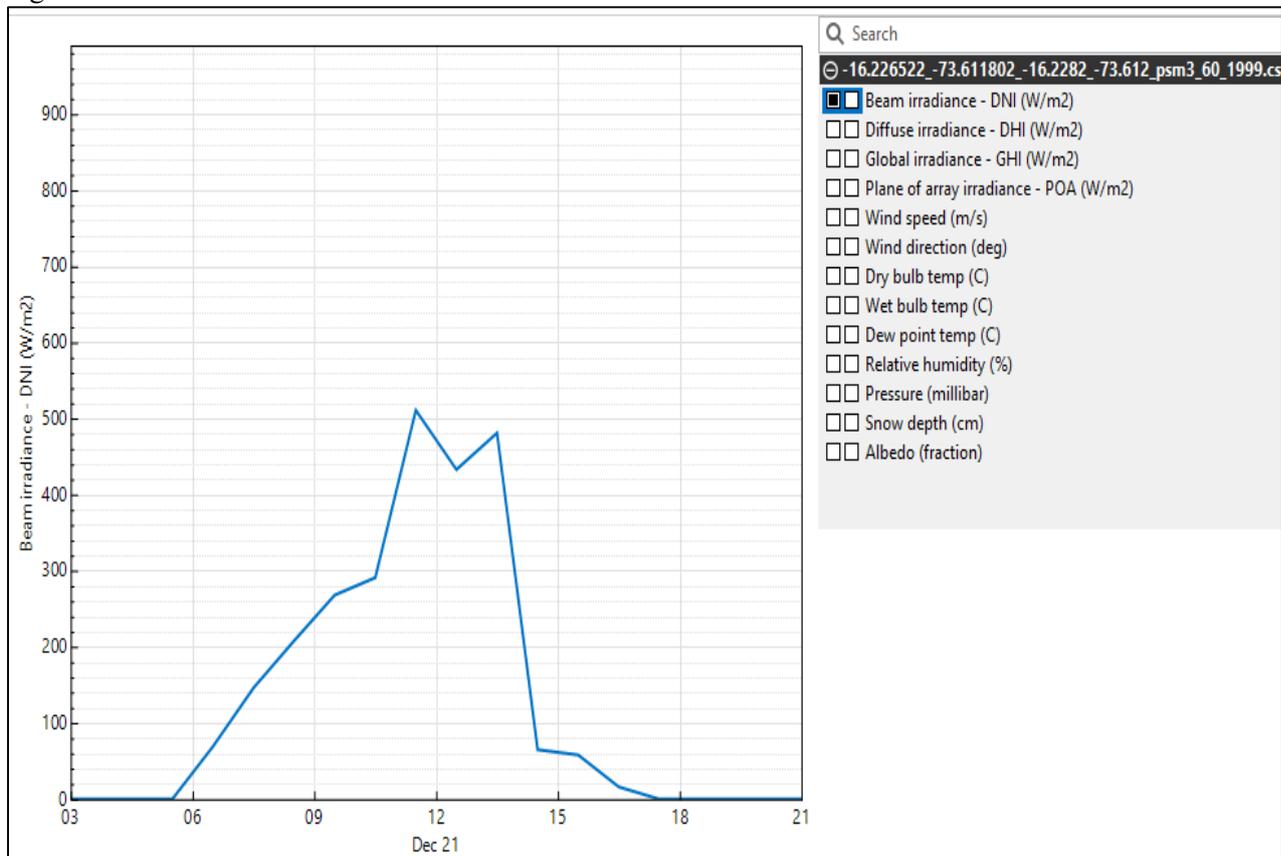
En las Figuras 44, 45, 46 y 47 se presentan los valores de la Radiación Directa Normal (DNI) correspondientes a cada evento astronómico. Se observa que el solsticio de invierno, el 21 de junio, registra el valor más alto de DNI, alcanzando los 900 W/m² a las 12:00 p.m. Por esta razón, se selecciona como punto de diseño, ya que en ese momento el sol alcanza su mayor altura en el cielo durante dicha estación, generando la máxima incidencia de Radiación Solar Directa. El objetivo es asegurar que el sistema esté preparado para las condiciones más extremas de radiación solar durante el año.

Figura 44. Radiación Directa Normal en el Equinoccio de Otoño



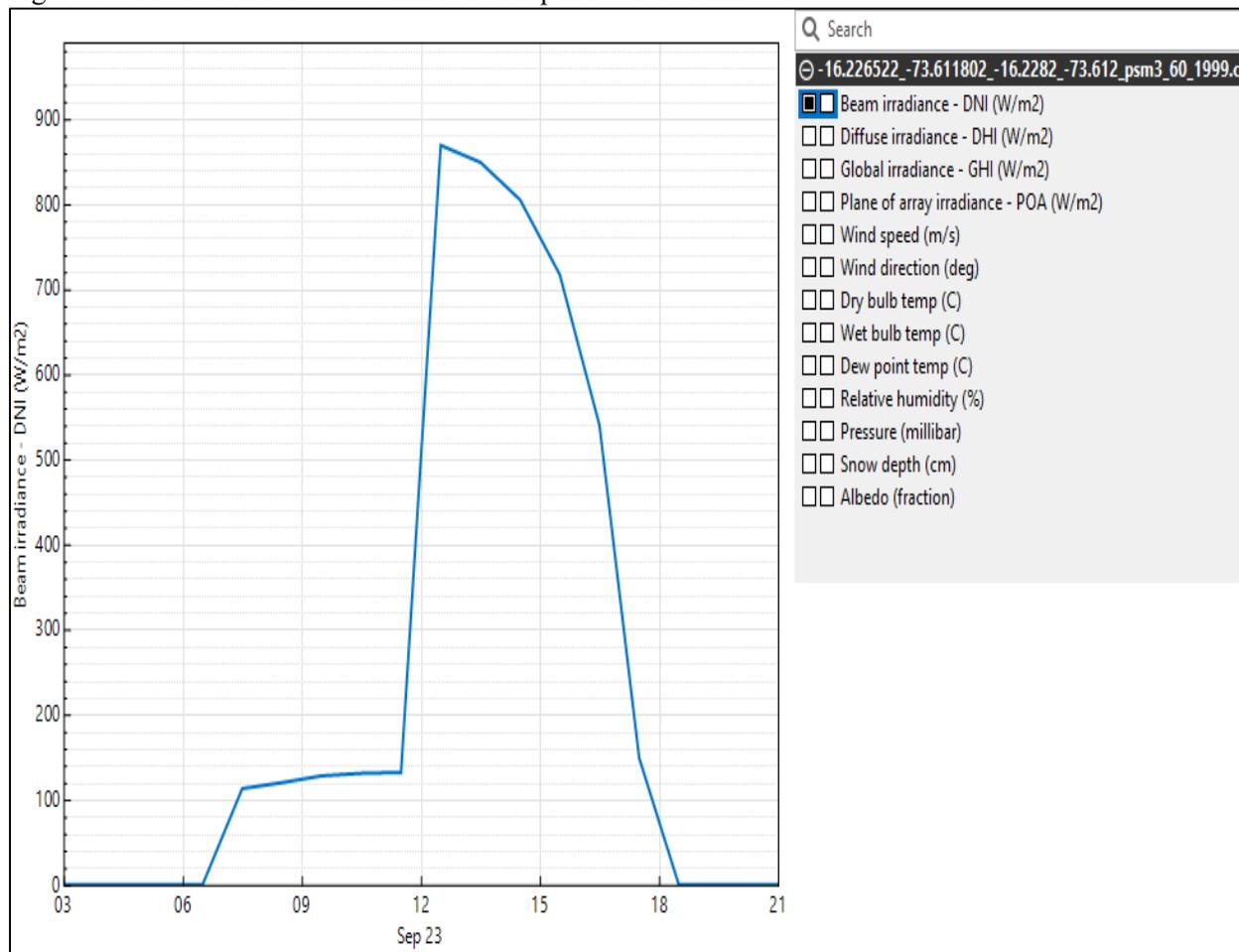
Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

Figura 45. Radiación Directa Normal en el Solsticio de Verano



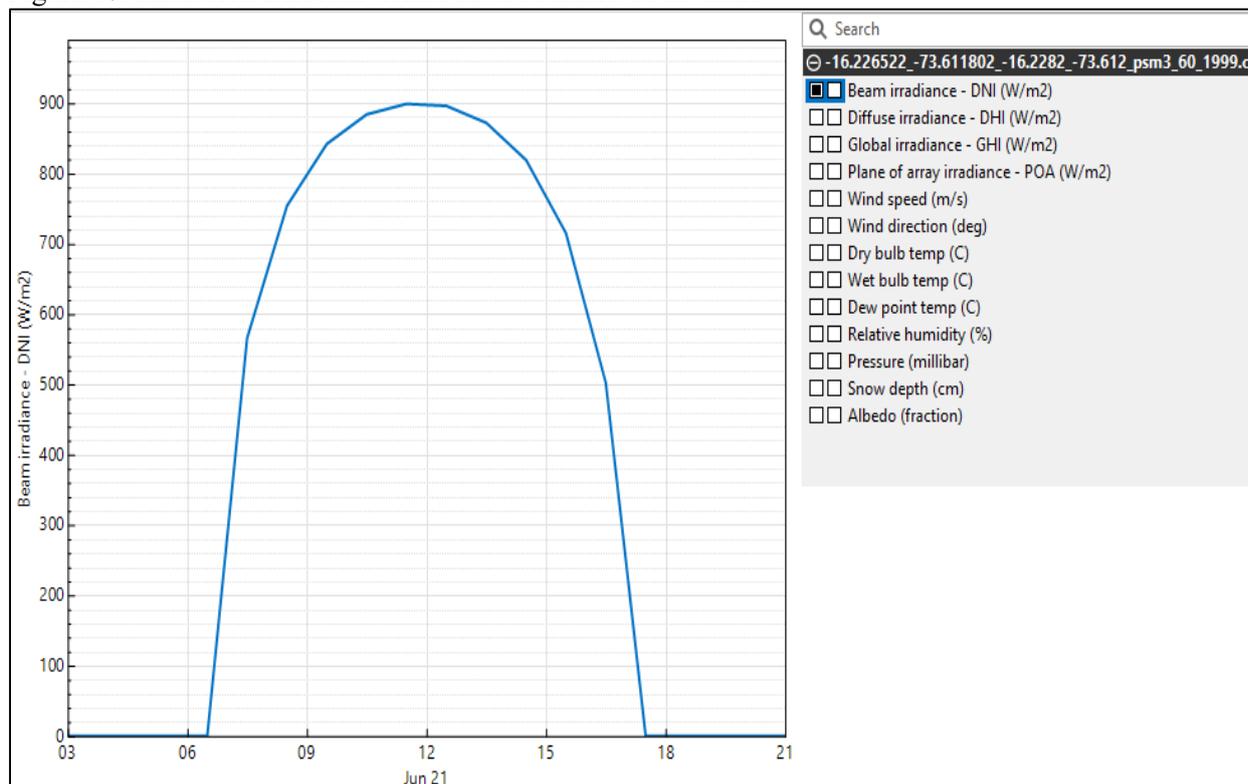
Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

Figura 46. Radiación Directa Normal en el Equinoccio de Primavera



Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

Figura 47. Radiación Directa Normal en el Solsticio de Invierno

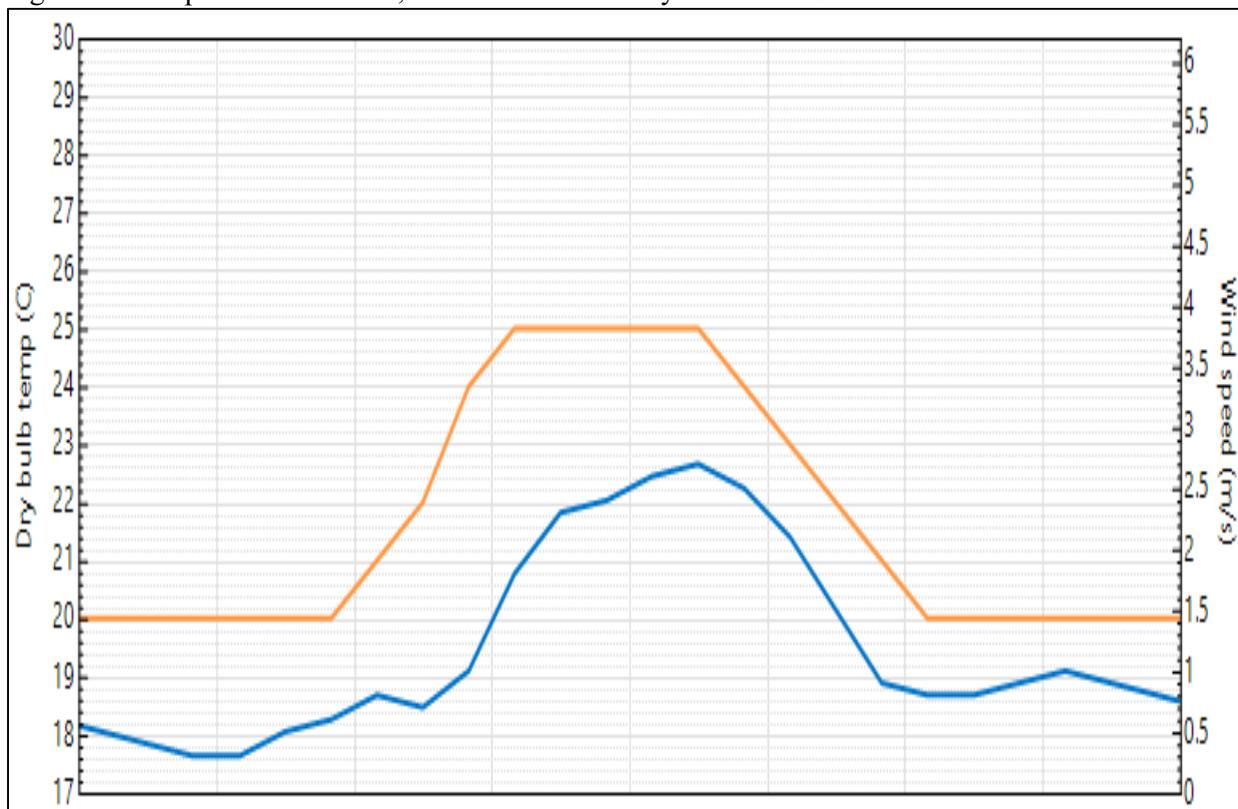


Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

5.3 Temperatura ambiente y Velocidad del Viento

El valor de la temperatura ambiente y velocidad del viento son de 22.5 °C y 3.8 m/s respectivamente como se observan en la figura 48.

Figura 48. Temperatura ambiente, Velocidad del viento y Radiación Directa Normal



Fuente: Elaboración propia a partir de SAM

5.4 Selección de Componentes

5.4.1 Fluido Caloportador

El aceite sintético Therminol VP-1 en comparación con otros aceites tiene un punto de congelación bajo de 13 °C como se muestra en la tabla 11, lo que le hace ampliamente atractivo en comparación con otros fluidos y se elegirá para el dimensionamiento de la central termosolar.

Tabla 11. Tipos de fluido térmico

Fluido Caloportador	Punto de congelación (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Densidad a 300 °C, kg/m ³	Viscosidad a 300 °C, N/m ² .s	Calor específico a 300 °C, J/KgK
Hitec Solar Salt	238 °C	593 °C	1899 kg/m ³	3.26x10 ⁻³	1495
HITEC	142	538	1640	3.16x10 ⁻³	1560
HITEC XL	120	500	1992	6.37x10 ⁻³	1447
Therminol VP-1	13	400	815	0.2x10 ⁻³	2319

Fuente. Elaboración propia con información de SAM

5.4.2 Colector

Los colectores comerciales principales son: Colector Skal-ET150 de la empresa Solargenix y Eurotrough, (Laboratorio de Energías Renovables, s.f.). Cuyas características se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Comparativa de los colectores Solargenix y Eurotrough

	Apertura (m)	Distancia focal media (m)	Longitud de un colector (m)	Área de espejo por colector (m ²)	Concentración geométrica	Rendimiento óptico
Solargenix	5	1.8	100	470	71:1	77
Eurotrough	5.77	1.71	99.5	545	82:1	80

Fuente: Elaboración propia con información del Laboratorio de Energías Renovables (NREL)

Según la tabla 12, el colector Eurotrough posee una mejor concentración geométrica, y, por lo tanto, un mejor rendimiento óptico frente a los colectores de Solargenix. Es por esa razón, que para el diseño de la central termosolar se escogerá el colector Eurotrough Skal-ET150 que es la última generación de este tipo de colectores.

5.4.3 Receptor

Los tubos absorbentes (receptores) principales son: Siemens AG y Schott Solar. (Laboratorio de Energías Renovables [NREL], s.f.). Cuyas características se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Comparativa de los tubos absorbentes Schott PTR 70 y Siemens UVAC

	Longitud (mm)	Diámetro exterior tubo metálico (mm)	Diámetro exterior tubo vidrio (mm)	Transmisividad (%)	Absortividad (%)	Emisividad (°C)	Superficie Útil (%)
Schott PTR 70	4060	70	125	96	95	10 % a 400	95
Siemens UVAC	4060	70	115	96.5	96	9% a 400	96

Fuente: Elaboración propia con información del Laboratorio de Energías Renovables (NREL)

De acuerdo a la tabla 13, las características son semejantes entre ambos colectores, se elegirá a los tubos absorbentes Siemens UVAC, al tener una mejor transmisividad y absorptividad.

5.4.4 Bloque de Potencia

En la tabla 14, se muestra la relación de tipos de ciclo de potencia con sus respectivas características que por defecto tiene el software SAM.

Tabla 14. Características del bloque de potencia

Ciclo de Potencia	Fluido de Transferencia de Calor (HTF)	Temperatura Máxima (° C)	Eficiencia del ciclo (%)	Tipo de Enfriamiento
Dry Cooled SEGS 80 MWe Turbine	Aceite Sintético	400 ° C	37.74 %	Seco
Siemens 400°C HTF	Aceite Sintético	400 ° C	37.36 %	Húmedo o Seco
Nexant 500°C HTF	Sales Fundidas	500 ° C	40.76 %	Húmedo o Seco
SEGS 80 MWe Turbine (Wet-Cooled)	Aceite Sintético	400 ° C	37.74 %	Húmedo

Fuente. Elaboración propia con información de SAM

De acuerdo a la tabla 14, el ciclo Nexant 500°C HTF tiene capacidad que el Fluido Caloportador opere hasta 500 ° C, ideal para las sales fundidas y que posee una mejor eficiencia en comparación con los otros ciclos Rankine, sin embargo, nuestro fluido de trabajo será el aceite sintético. Además, que al operar a altas temperaturas ocasionaría constantes corrosiones en las tuberías que transportan el fluido caloportador.

Por otra parte, el ciclo SEGS 80 MWe Turbine (Wet-Cooled) posee un enfriamiento en húmedo, por lo que, necesitaría grandes cantidades de agua para la operación de la central, y el lugar de estudio de la presente tesis al ser una zona árida no conviene usar este tipo de Ciclo Rankine.

Los ciclos Dry Cooled SEGS 80 MWe Turbine y Siemens 400°C HTF poseen las mismas características como que pueden configurarse para operar su enfriamiento en seco. Sin embargo, se elegirá el ciclo Dry Cooled SEGS 80 MWe Turbine al poseer una ligera mayor eficiencia de 37.74% en comparación con los 37.36% del ciclo Siemens 400°C HTF.

5.4.5 Fluido para el Almacenamiento Térmico

Las sales fundidas son actualmente la mejor opción como fluido de almacenamiento térmico debido a su alta capacidad térmica y estabilidad a altas temperaturas (IEA, 2023). Se usará en el diseño y cuya composición se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Características de las Sales Fundidas HITEC

Características Sales HITEC	
Composición (%) NaNO₃	60
Composición (%) KNO₃	40
Punto de congelación (°C)	220
Límite superior de temperatura (°C)	600
Densidad (kg/m³)	1871.85

Calor específico (J/(kg.°C))	1443+0.172.T (°C)
-------------------------------------	-------------------

Fuente. Tomado de Arrieta E. (2020), Diseño y Análisis básico de una central solar térmica

5.4.6 Consumos Parasitarios

En la tabla 16, se muestra la relación de configuraciones de consumos parasitarios, es decir, la energía que requiera la central para operar su sistema interno, que por defecto tiene el software SAM.

Tabla 16. Configuración de los consumos parasitarios

CONFIGURACION	DESCRIPCION	APLICACIONES	TIPO DE HTF
SEGS REFERENCE	Colectores cilindros parabólicos con fluido de transferencia de calor basado en aceite térmico.	Centrales termosolares con tecnología comprobada.	Aceite Térmico
APS 1 MW ORC WET	Ciclo Rankine Orgánico	Aplicaciones industriales y pequeñas centrales termosolares	Aceite Térmico
MOLTEN SAL HTF	Colectores cilindros parabólicos con sales fundidas como fluido de transferencia de calor.	Mayor eficiencia térmica, pero requiere materiales más resistentes	Sales Fundidas

Fuente. Elaboración propia con información de SAM

De las configuraciones de consumos parasitarios de la tabla 16, la que mejor se adecua para el diseño es el SEGS Reference al ser una tecnología comprobada que usa como HTF el aceite térmico. A diferencia del APS 1 MW ORC WET que no se adecua a nuestro diseño ya que tiene un límite de 1 MW para su funcionamiento y el MOLTEN SAL HTF que usa como HTF sales fundidas.

5.5 Dimensionamiento del Bloque de Potencia

Según la Tabla 1, la potencia efectiva de la central térmica de Ático es de 1.315 MW. Esta potencia se utilizará como base para evaluar la capacidad de generación eléctrica de la central en el contexto actual.

5.6 Dimensionamiento del Sistema de Almacenamiento

5.6.1 Horas de Almacenamiento

Para un sistema que debe funcionar las 24 horas del día, el almacenamiento térmico debe garantizar operación nocturna y suplir la demanda cuando la radiación es insuficiente. Para garantizar una operación continua se considera 48 horas de almacenamiento térmico.

5.7 Dimensionamiento y Configuración del Campo Solar

5.7.1 Geometría y Dinámica de Seguimiento en Colectores Solares

5.7.1.1 Sistema de Seguimiento Solar. El sistema de seguimiento que se usará en los colectores cilindro parabólicos será de un solo eje. Debido a que, en el software SAM se encuentra predefinida y el seguimiento de dos ejes todavía no es probado comercialmente por las complicaciones geométricas de la estructura de dichos colectores. El sistema de accionamiento será del tipo hidráulico según las especificaciones de los colectores de la tabla 12.

5.7.1.2 Orientación. En el software SAM la orientación es predefinida en el eje Este-Oeste de los colectores cilindros parabólicos, situándose perpendicularmente al eje Norte-Sur.

5.7.1.3 Angulo de Estiba. En un ángulo de 180° , aunque el flujo es más paralelo, la parte posterior del colector puede generar un efecto de vacío o vórtices que inducen cargas dinámicas adicionales, lo que podría afectar la estabilidad estructural. En cambio, en un ángulo de 170° , el viento fluye de manera más controlada sobre la superficie del colector, reduciendo la resistencia aerodinámica y evitando turbulencias excesivas. Por esta razón, 170° es una mejor opción que 180° para minimizar la carga estructural, algo que ha sido documentado en estudios aerodinámicos sobre estructuras expuestas al viento. (Engineering ToolBox, s.f.).

5.7.1.4 Angulo de Despliegue. El ángulo de despliegue de los colectores solares se ajusta en función de la latitud de la ubicación. La inclinación ideal para maximizar la captación solar es generalmente igual o cercana a la latitud del lugar. En el caso de Arequipa, con una latitud de 16.4° S, para el presente diseño asumiremos un ángulo de 16° que se aproxima más a la latitud del lugar.

5.7.1.5 Inclinación Del Colector. Generalmente se ajusta según la latitud del lugar para maximizar la captación solar. El valor estándar para la inclinación de un colector es igual a la latitud de la ubicación. En Arequipa, con una latitud de 16.4° S, la inclinación ideal para un colector sería 16° . El valor inicial del ángulo de inclinación comienza en 16° que es el valor óptimo para maximizar la captación solar durante todo el año. Este valor servirá como base para que SAM calcule los ajustes automáticos de seguimiento solar a lo largo del año.

5.7.1.6 Azimut del Colector. Para maximizar la captación de energía solar, los colectores deben estar orientados hacia el norte en el hemisferio sur. Entonces, el azimut ideal sería 0° para asegurar que los colectores estén perfectamente alineados hacia el norte.

5.7.2 Dimensionamiento del Campo Solar

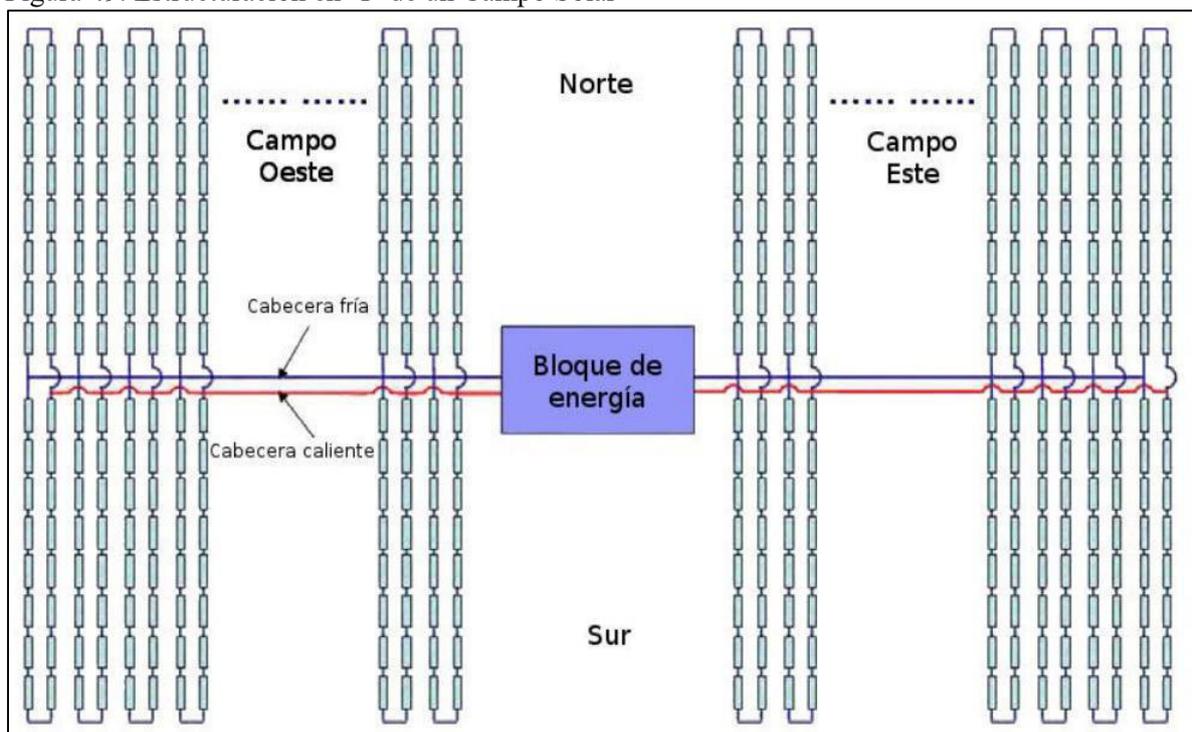
5.7.2.1 Múltiplo Solar. Según Turchi et al. (2019) Una planta termosolar con 48 horas de almacenamiento térmico funciona mejor con un SM entre 3 y 4. En ese entender elegimos como múltiplo solar el valor de 3,5.

5.7.2.2 Espaciado entre Filas. El espaciado entre filas para sistemas solares con colectores de cilindros parabólicos suele estar entre 15 a 18 metros. Este espaciado asegura que no haya sombreado entre las filas y que cada colector reciba la mayor cantidad de luz posible. (Laboratorio de Energías Renovables, s.f.). Para el presente diseño elegiremos 18 m de espaciado para evitar en lo mayor posible pérdida por sombreado.

5.7.2.3 Distancia entre colectores en fila. La distancia entre los colectores dentro de una fila es generalmente entre 1 y 2 metros para evitar que se bloqueen entre sí, garantizando así que cada colector reciba suficiente radiación solar. Esta distancia está basada en diseños optimizados para campos solares compactos y es un valor comúnmente encontrado en proyectos comerciales de energía solar térmica (Laboratorio de Energías Renovables, s.f.). Tomaremos el valor de 2 m para evitar los bloqueos entre los colectores el máximo posible.

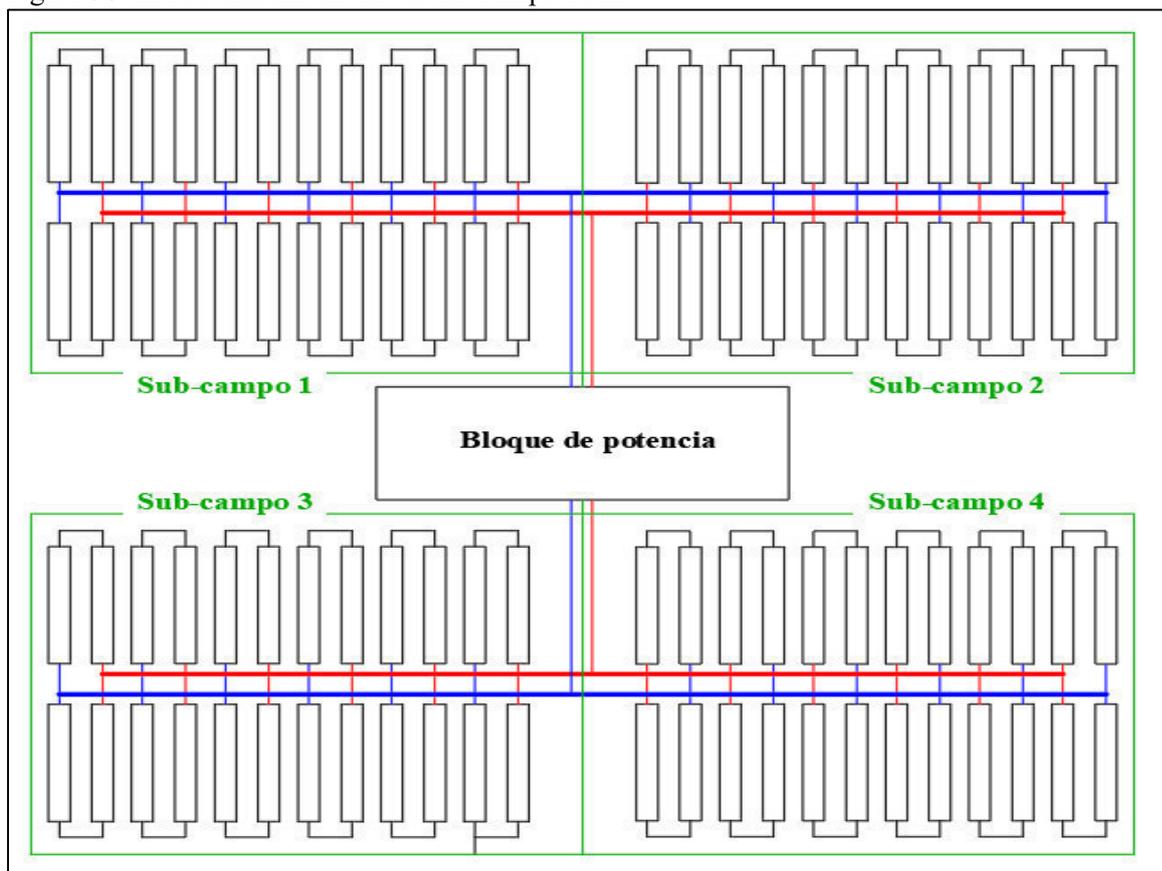
5.7.2.4 Estructuración del Campo Solar. Una de las pérdidas a evitar es la potencia de bombeo, por esa razón, las trayectorias de las tuberías se deben disponer eficientemente. Según Duffie y Beckman (2011) los campos solares de áreas menores a $40\,000\text{ m}^2$ la estructuración es en “I” como se observa en la figura 49 y para campo solares mayores a $40\,000\text{ m}^2$ es en “H” como se observa en la figura 50.

Figura 49. Estructuración en "I" de un Campo Solar



Fuente. Tomado de <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/33251>

Figura 50. Estructuración en "H" de un Campo Solar



Fuente. Tomado de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/20345/fichero/Cap%C3%ADtulo+2+-+Anexos%252F07+-++Anexos.pdf>

Para el presente dimensionamiento se utilizará la estructuración en "I" debido a que el área es menor de $40\,000\text{ m}^2$.

5.7.2.5 *Numero de Colectores por Fila.* Según SAM, el área total reflectiva del campo solar es de 59,269 m² y que el Área de apertura de cada colector es de 817.5 m². Se calcula el N° de colectores entre la división del área total y de apertura.

$$\text{N}^\circ \text{ Colectores} = \frac{14306 \text{ m}^2}{817.5 \text{ m}^2} = 18 \text{ colectores}$$

Una distribución más compacta y ordenada reduce pérdidas por tuberías largas y minimiza la caída de presión, optimizando el rendimiento térmico del sistema (Price et al., 2002). Diseños simples con menor cantidad de filas y colectores permiten una instalación más rápida y económica, reduciendo la cantidad de estructuras de soporte y la complejidad de los circuitos de fluido térmico (Fernández et al., 2010).

Para determinar el número de colectores por fila en disposición en “I”, asumimos una distribución lógica. Distribuiremos 18 colectores en 3 filas.

$$\text{N}^\circ \text{ de colectores por fila} = \frac{18 \text{ colectores}}{3 \text{ filas}} = 6 \text{ colectores por fila}$$

Usar 6 colectores por fila también hace que la instalación sea más sencilla. manejable y equilibrada lo que significa menos espacio entre ellas. El diseño en 3 filas es más fácil de organizar, estructurar y alinear que si tuviéramos más filas. El colector adicional se distribuirá en una fila, entonces se tendrá la siguiente disposición:

- 3 filas con 6 colectores

5.8 Características del Generador

El generador de la central que estará acoplado a la turbina, será de tipo síncrono ya que son los indicados para centrales del tipo térmico, las características son:

- Frecuencia red: 60 Hz
- Tensión Nominal de operación: 10 Kv
- Potencia nominal: 1.315 MW
- Pares de polos: 4 polos
- Velocidad de rotación: 1800 rpm

El generador elegido que cumple con las características mencionadas es el ABB generators, las demás especificaciones está en el Anexo 3.

5.9 Resumen del Dimensionamiento de la Central Termosolar

Los parámetros de dimensionamiento de la central termosolar se muestra en la tabla 17. Además, en el Anexo 1 se muestra el plano de dimensionamiento de la central termosolar.

Tabla 17. Resumen del diseño de la central termosolar

Radiación Directa Normal	900 W/m ²
Temperatura ambiente	22.5 ° C
Velocidad del viento	3.8 m/s
Seguimiento solar	Un eje
Orientación solar	Este-Oeste
Fluido Caloportador (HTF)	Aceite sintético Therminol VP-1
Colector	Eurotrough Skal ET150
Receptor	Siemens UVAC
Fluido para el almacenamiento térmico	Sales fundidas
Bloque de potencia	Dry Cooled SEGS 80 MWe Turbine
Consumos parasitarios	SEGS Reference
Potencia Efectiva	1.315 MWe
Horas de almacenamiento	48 horas
Angulo de estiba	170° grados
Angulo de despliegue	16° grados
Azimut del colector	0° grados
Inclinación del colector	16° grados
Múltiplo Solar	3.5
Espaciado entre filas	18 metros
Distancia entre colectores en fila	2 metros
Numero de colectores por fila	3 filas con 6 colectores por fila

Fuente. Elaboración propia

5.10 Resultados de la simulación en SAM

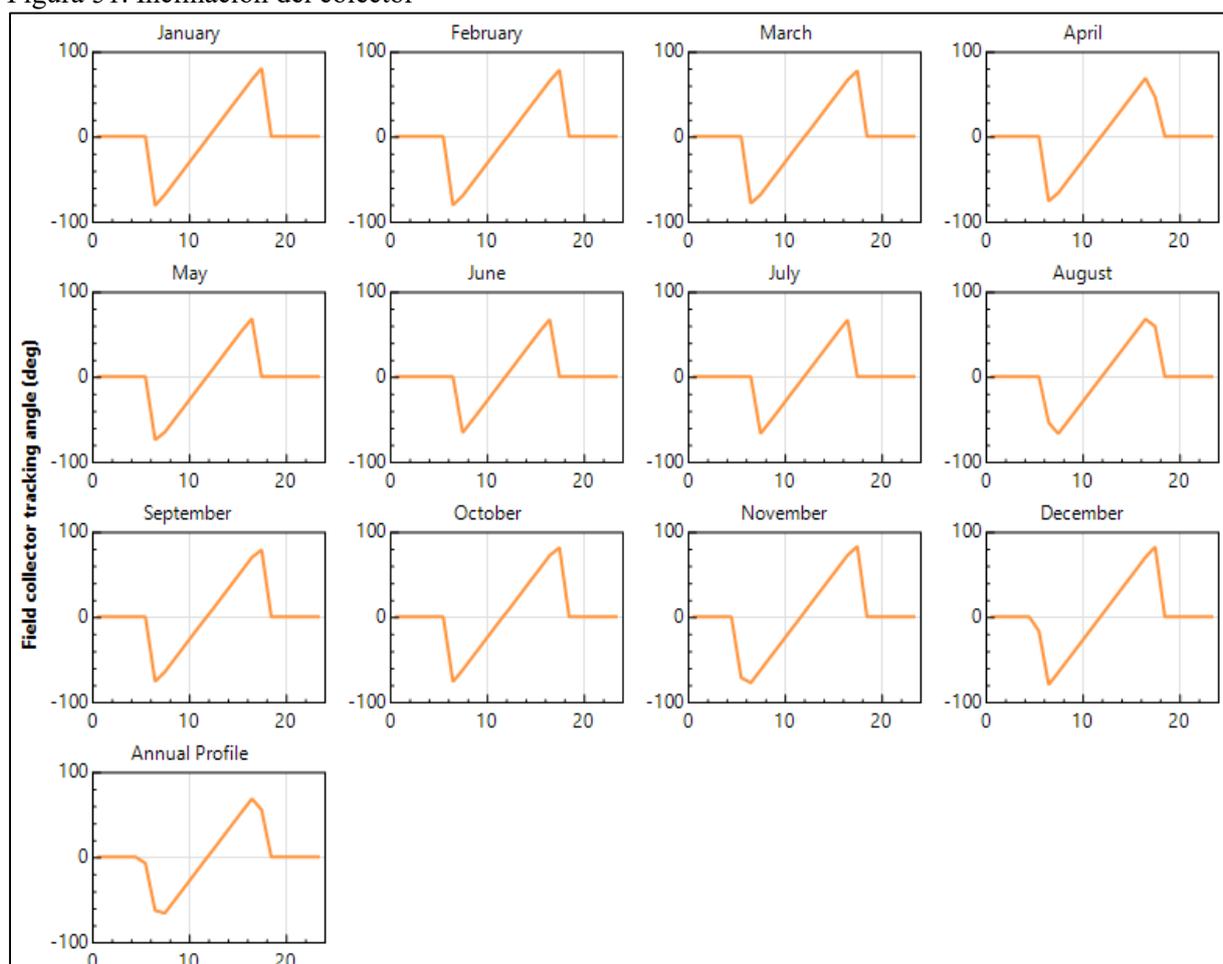
Después de determinar el dimensionamiento y la selección de componentes de la central termosolar de cilindros parabólicos lo introducimos en el software SAM para su simulación en el año 2023.

5.10.1 Resultados en el Campo Solar

En la figura 51 se observa el comportamiento del nivel de inclinación del colector solar, los colectores están alineados a lo largo del eje Norte-Sur, lo que significa que su curvatura

(apertura) esta perpendicular al eje Este-Oeste (tracking de un solo eje). Esto permite que, a lo largo del día, el seguidor gire los colectores para seguir el Sol desde que aparece en el Este hasta que se oculta en el Oeste. Por eso, en la mañana el ángulo de incidencia es negativo (Sol al Este del plano), cerca del mediodía es cero (alineación óptima) y en la tarde es positivo (Sol al Oeste), repitiendo este comportamiento cada día por el desplazamiento solar.

Figura 51. Inclinación del colector

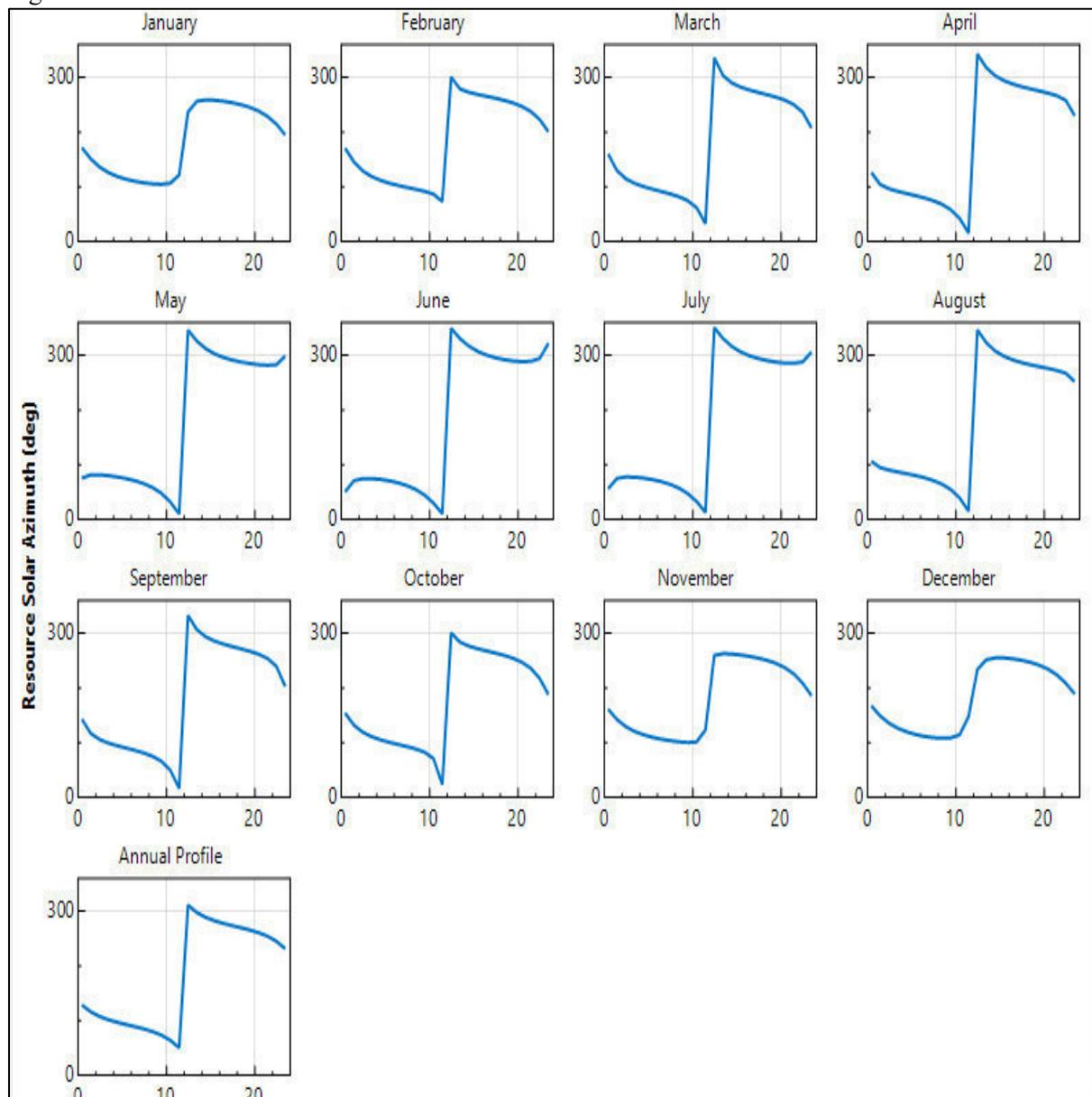


Fuente. Elaboración propia a partir de la simulación en SAM

En la figura 52 se observa que, durante la noche y las primeras horas de la mañana, los colectores permanecen en posición de reposo, mostrando ángulos de azimut relativamente altos (por ejemplo, alrededor de 150° o menores según el mes), que dependen tanto de la configuración nocturna como de la estación del año. Al amanecer, a medida que el sol asciende desde el este, el azimut disminuye progresivamente hasta alcanzar su valor mínimo cercano al mediodía solar, cuando el sol se encuentra en su punto más alto hacia el norte geográfico, el comportamiento varía según la época del año. Después del mediodía, el ángulo aumenta siguiendo el movimiento del sol hacia el oeste y finalmente disminuye ligeramente al final del día, retornando a la posición nocturna. Estas variaciones reflejan la influencia de la inclinación del eje terrestre y la declinación solar, que hacen que la trayectoria del sol cambie de Norte a

Sur entre estaciones, afectando la orientación óptima de los colectores para maximizar la captación solar.

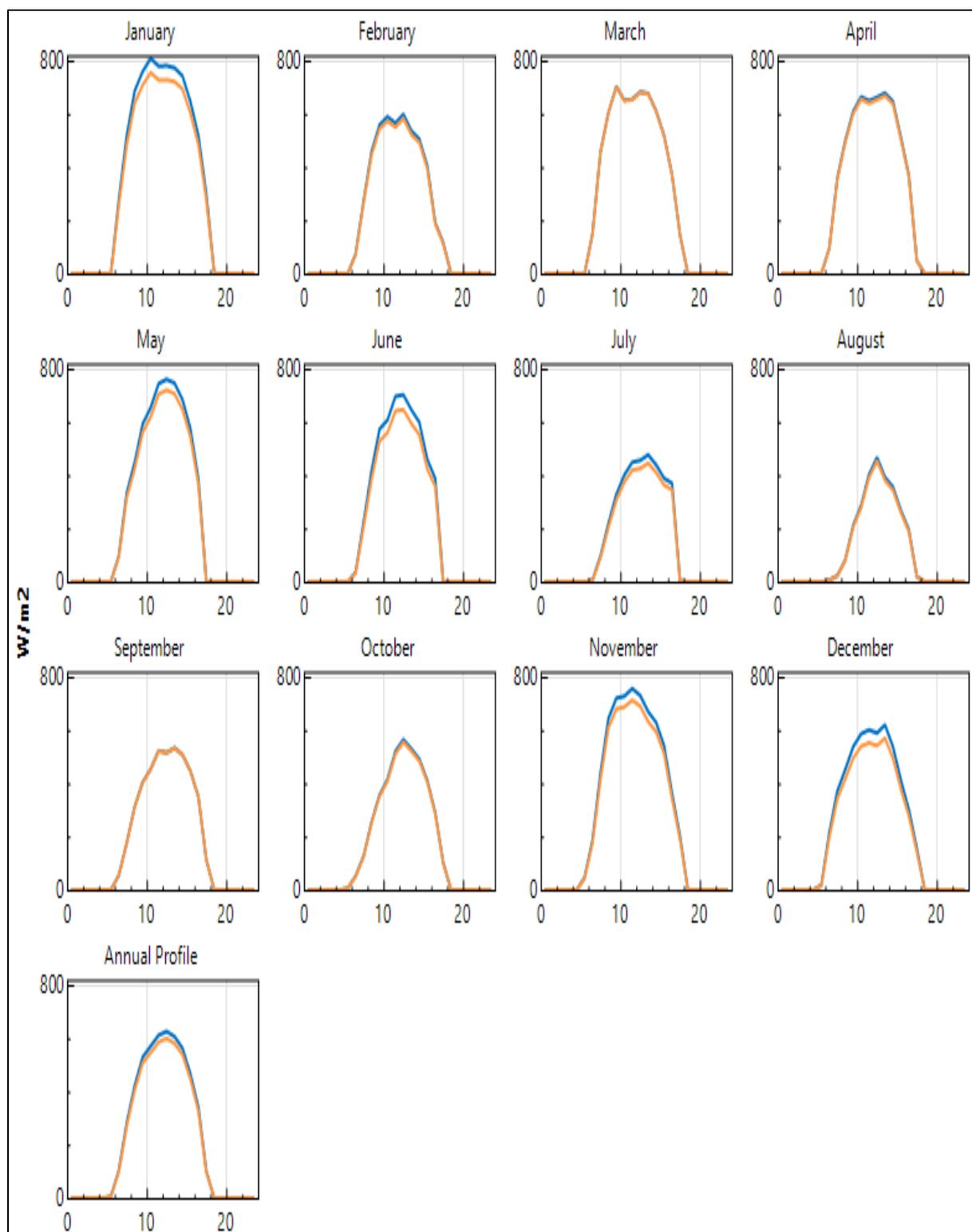
Figura 52. Azimut del colector



Fuente. Elaboración propia a partir de la simulación en SAM

En la figura 53 se observa el comportamiento de la Radiación Directa Normal (DNI) en línea azul y de la Radiación Directa Normal con el efecto coseno (DNI coseno) en línea naranja. El valor de la DNI coseno es ligeramente inferior que la Radiación Directa Normal (DNI) porque es la irradiación efectiva que realmente incide sobre el colector inclinado. Asimismo, se observa que en el mediodía solar se encuentra en su valor máximo la radiación solar, y que varía la radiación solar a lo largo del año, siendo los meses de julio, agosto, setiembre y octubre cuando hay menor radiación.

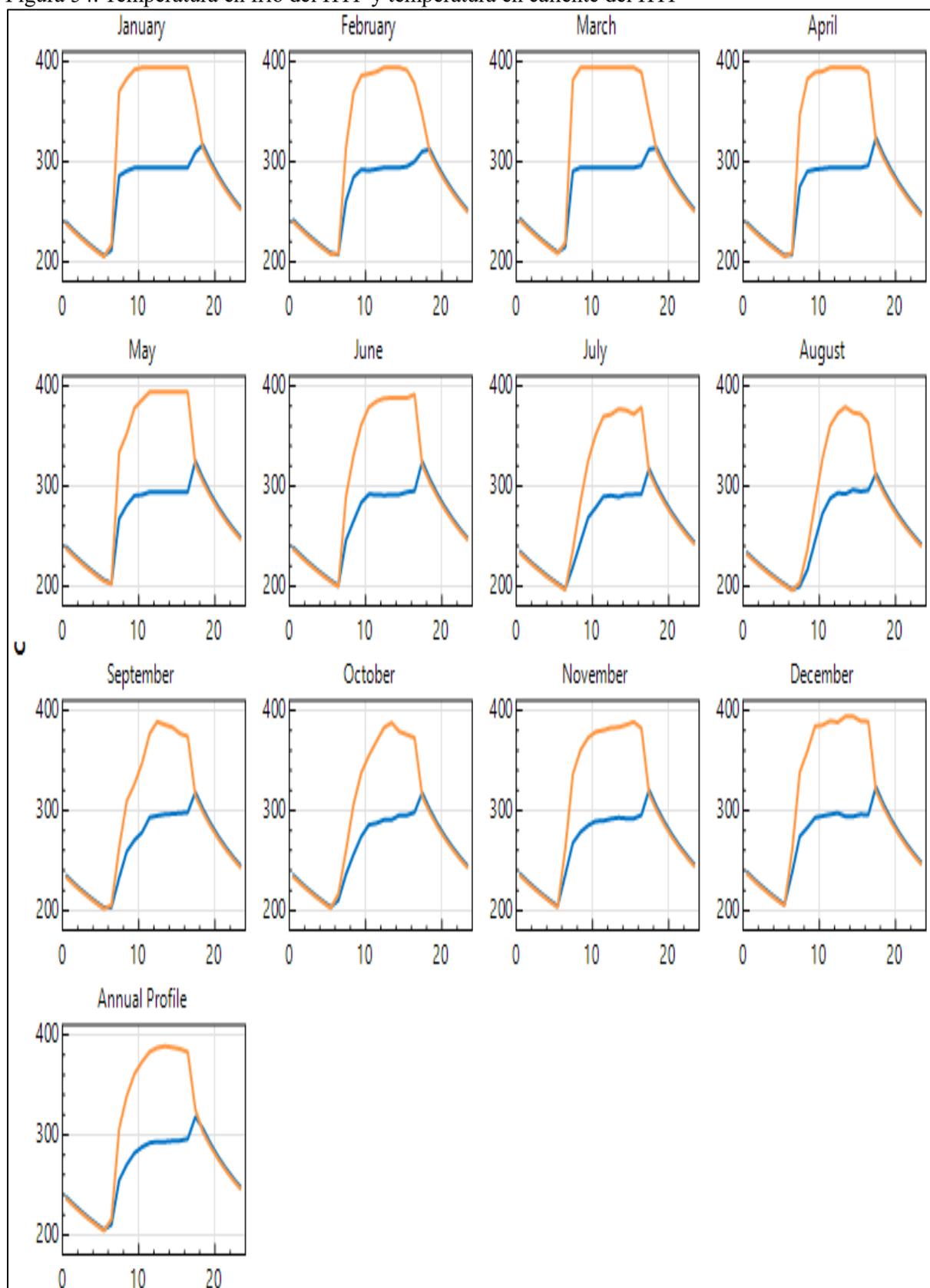
Figura 53. Radiación Directa Normal y Radiación Directa Normal con efecto coseno



Fuente. Elaboración propia a partir de la simulación en SAM

En la figura 54 se muestra la temperatura en frío del HTF en línea azul cuando entra al campo solar y en la línea naranja la temperatura en caliente del HTF cuando entra al intercambiador de calor para entrar al bloque de potencia. Asimismo, se observa que la temperatura en frío bordea los 300 °C, mientras que la temperatura en caliente se aproxima a los 400 °C, sin llegar a superarlos, ya que representa su límite operativo. Esta diferencia de aproximadamente 100 °C concuerda con lo establecido en las características del fluido caloportador.

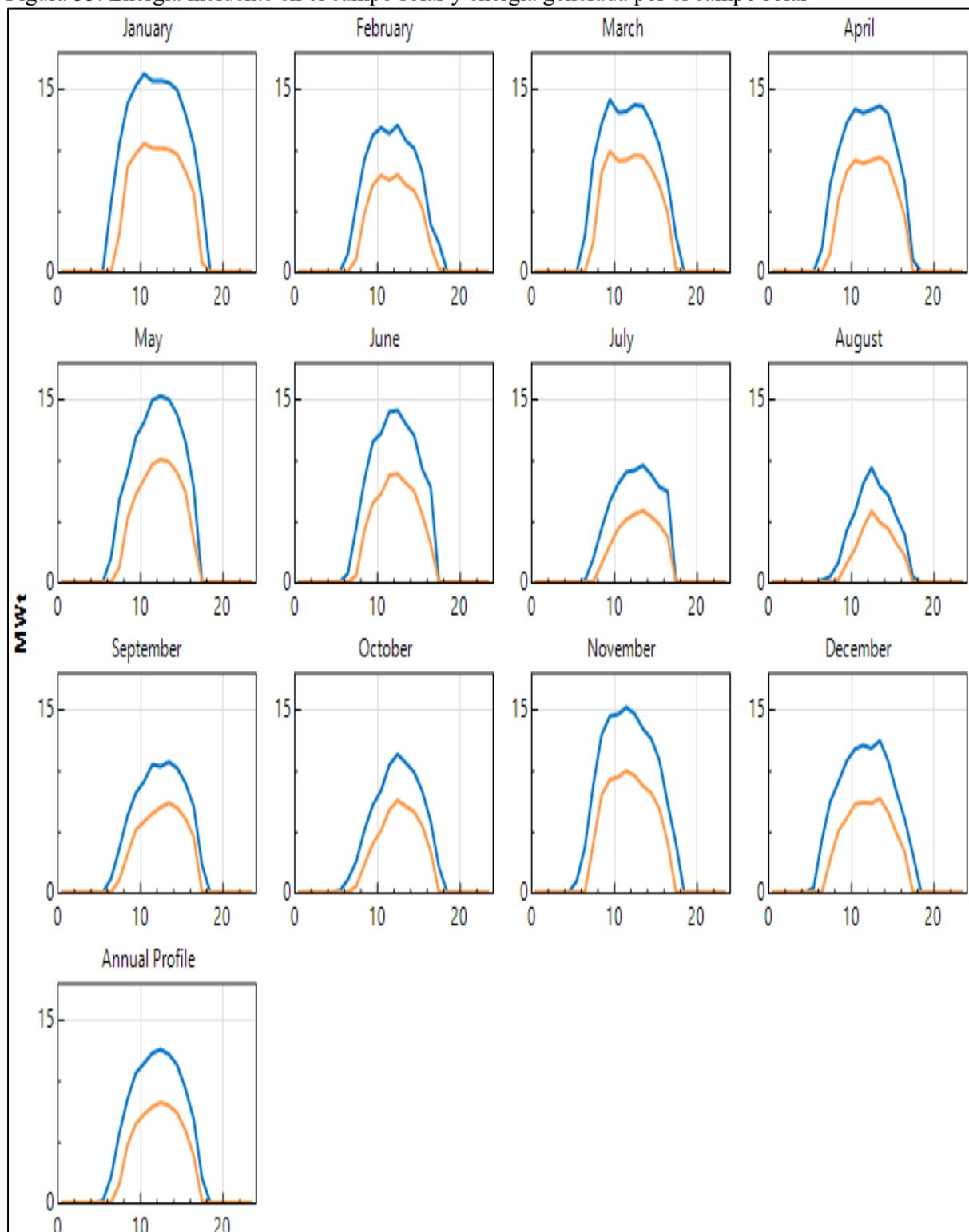
Figura 54. Temperatura en frío del HTF y temperatura en caliente del HTF



Fuente. Elaboración propia a partir de la simulación en SAM

En la figura 55 se observa en línea azul la energía total incidente en el campo solar antes de cualquier pérdida y en línea naranja la energía generada por el campo solar después de todas las pérdidas del sistema, razón por la cual, su valor es menor.

Figura 55. Energía incidente en el campo solar y energía generada por el campo solar

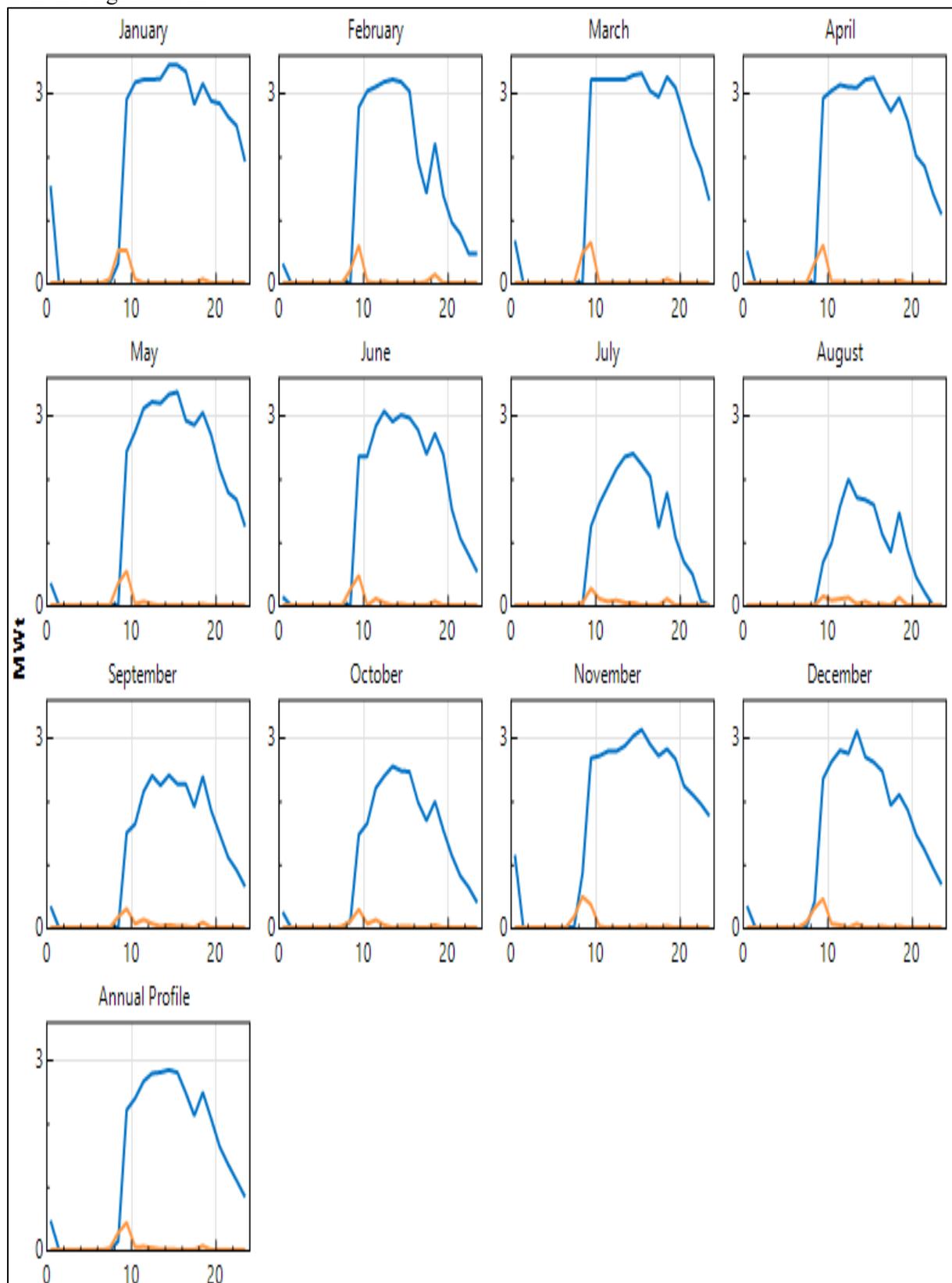


Fuente: Elaboración propia a partir de la simulación en SAM

5.10.2 Resultados en el Bloque de Potencia

En la figura 56 se observa la potencia térmica entrante al bloque de potencia desde el campo solar o el sistema de almacenamiento en línea azul que es la potencia que se usa para la producción de energía eléctrica y la potencia térmica requerida para poner en marcha el ciclo de generación antes de alcanzar su estado operativo en línea naranja que su valor pico alcanza justamente cuando el bloque de potencia recibe la energía térmica.

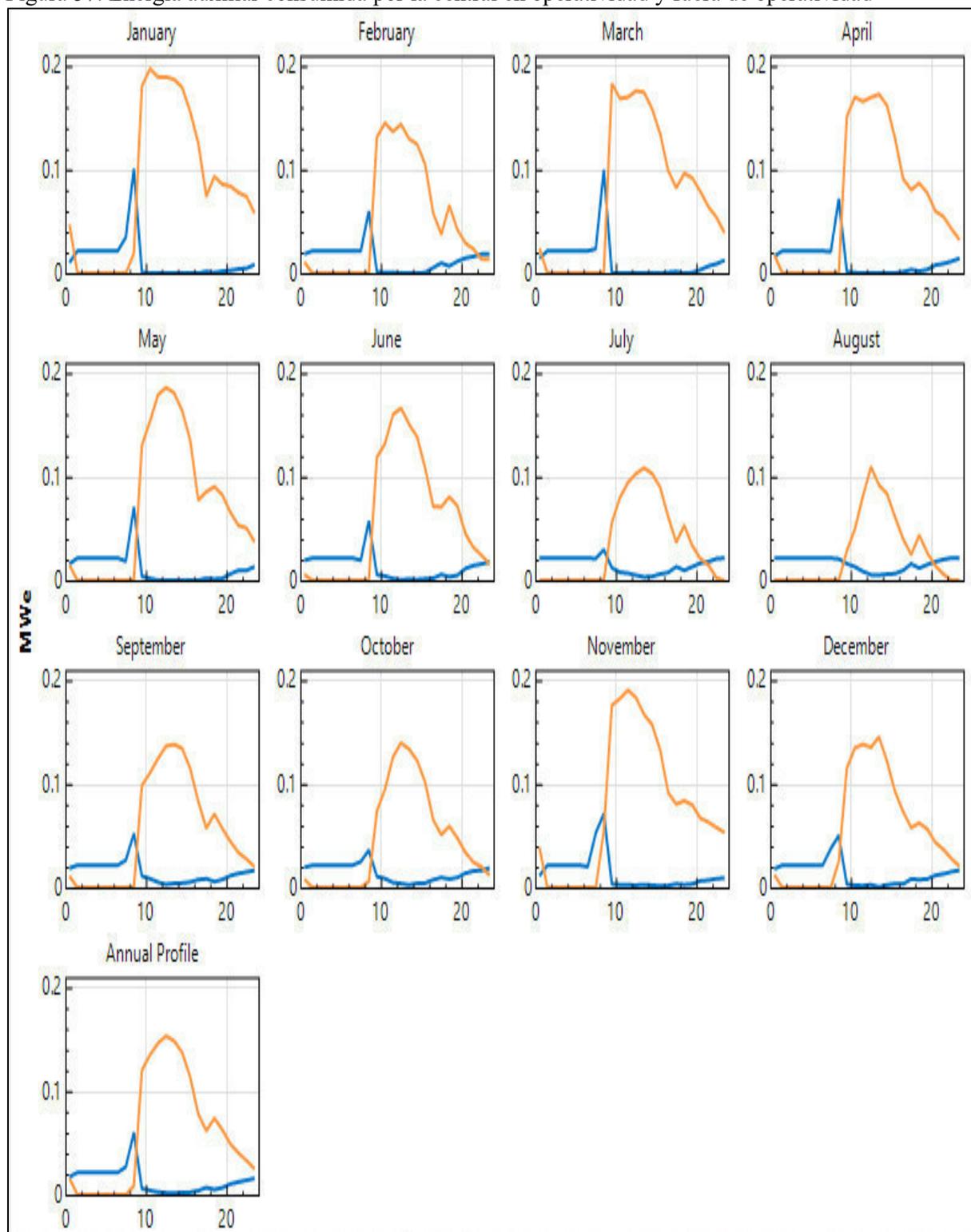
Figura 56. Potencia térmica de entrada al bloque de potencia y potencia térmica para poner en marcha el ciclo de generación



Fuente: Elaboración propia a partir de la simulación en SAM

En la figura 57 se muestra el consumo de energía cuando la central no está en operación, pero requiere alimentación mínima en línea azul y la energía auxiliar consumida cuando la central está operativa en línea naranja.

Figura 57. Energía auxiliar consumida por la central en operatividad y fuera de operatividad

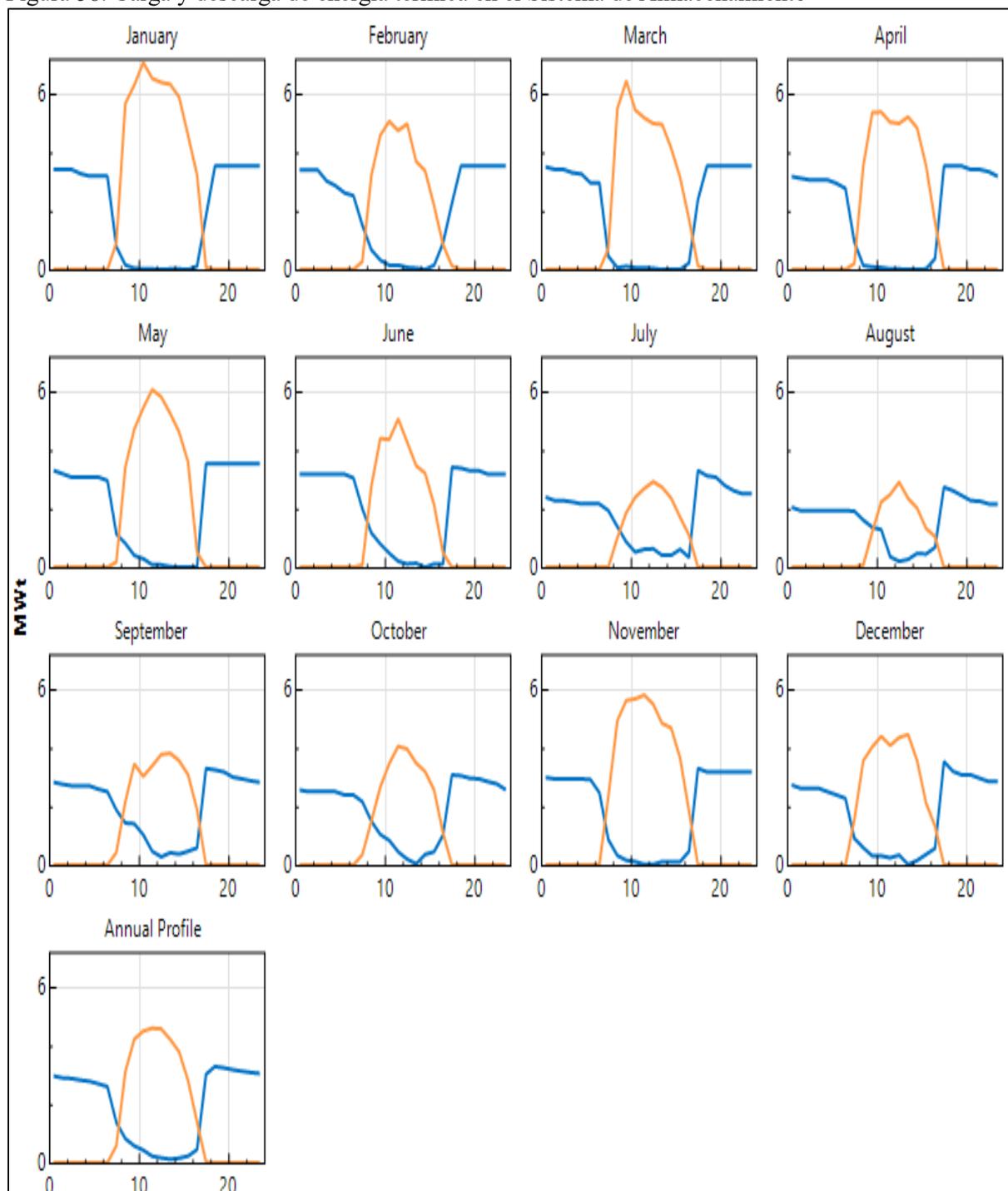


Fuente: Elaboración propia a partir de la simulación en SAM

5.10.3 Resultados en el Sistema de Almacenamiento Térmico

En la figura 58 se observa el comportamiento del sistema de almacenamiento térmico, en línea naranja se observa la carga de energía térmica cuando existe radiación solar y el excedente captado el llevado a los tanques de almacenamiento y en línea azul la descarga de la energía térmica, cuando se requiere el uso de esta energía para la operación de la central cuando no hay radiación solar.

Figura 58. Carga y descarga de energía térmica en el Sistema de Almacenamiento

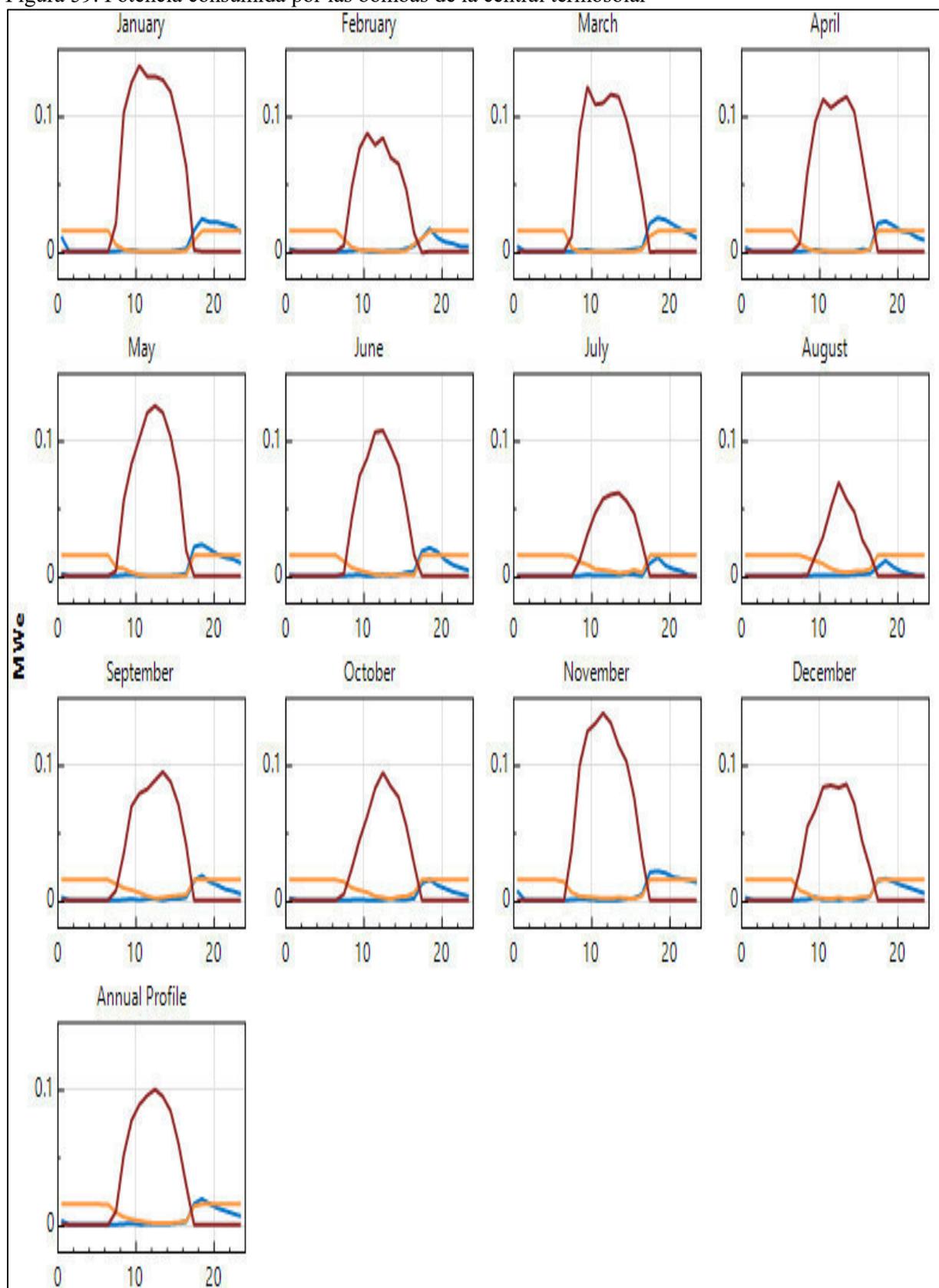


Fuente: Elaboración propia a partir de la simulación en SAM

5.10.4 Resultados de las pérdidas en la Central Termosolar

En la figura 59 se observa la potencia consumida por las bombas de almacenamiento térmico TES y el ciclo HTF en línea azul, su valor se da cuando el sistema de almacenamiento abastece al bloque de potencia su energía térmica, la potencia usada por las bombas de protección contra congelamiento en línea naranja, se observa que consume potencia cuando no hay radiación solar justamente para evitar el congelamiento del fluido caloportador y la potencia usada por las bombas del campo solar para mover el HTF en línea marrón, su potencia consumida se da cuando hay radiación solar.

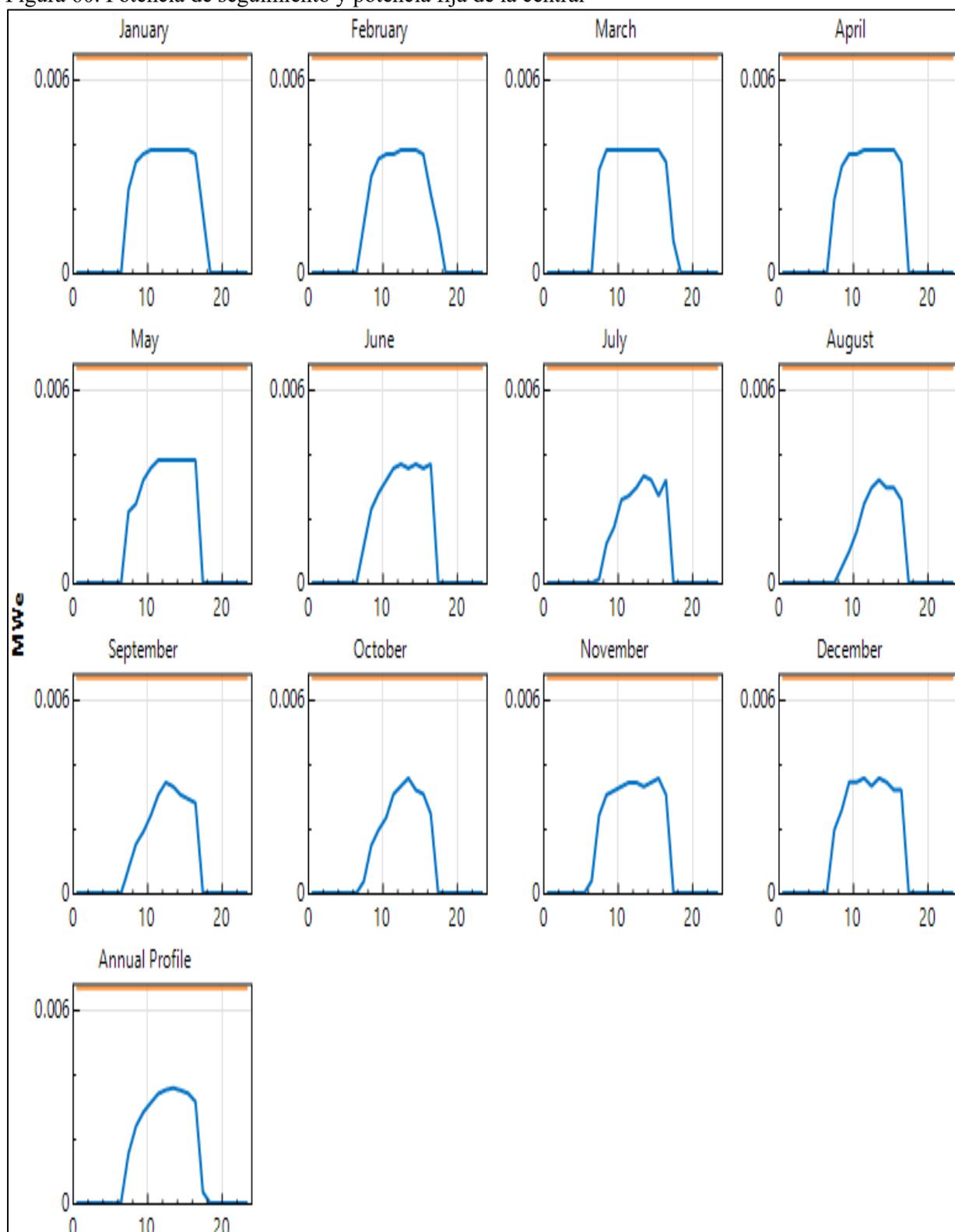
Figura 59. Potencia consumida por las bombas de la central termosolar



Fuente: Elaboración propia a partir de la simulación en SAM

En la figura 60 se observa la potencia usada para el seguimiento solar de los colectores cilindros parabólicos en línea azul, su valor se da cuando existe radiación solar, la potencia fija de la planta que representa la iluminación y los sistemas de control en línea naranja.

Figura 60. Potencia de seguimiento y potencia fija de la central

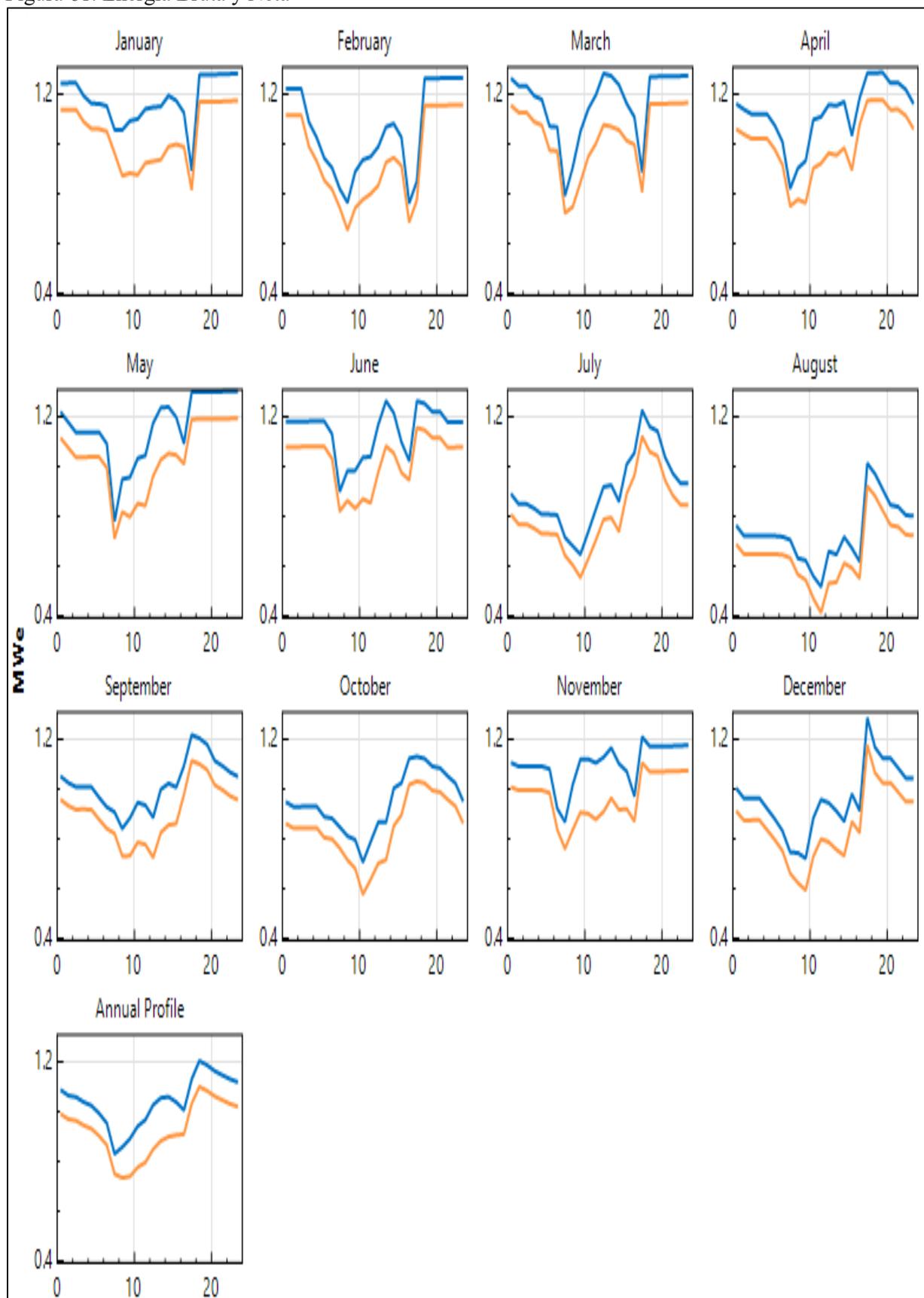


Fuente: Elaboración propia a partir de la simulación en SAM

5.10.5 Análisis de la producción de energía eléctrica

5.10.5.1 Producción de Energía Eléctrica sin Sistema Backup. En la figura 61 se observa la energía generada bruta antes de descontar los consumos auxiliares en línea azul y la energía neta después de descontar las pérdidas y consumos auxiliares en línea naranja.

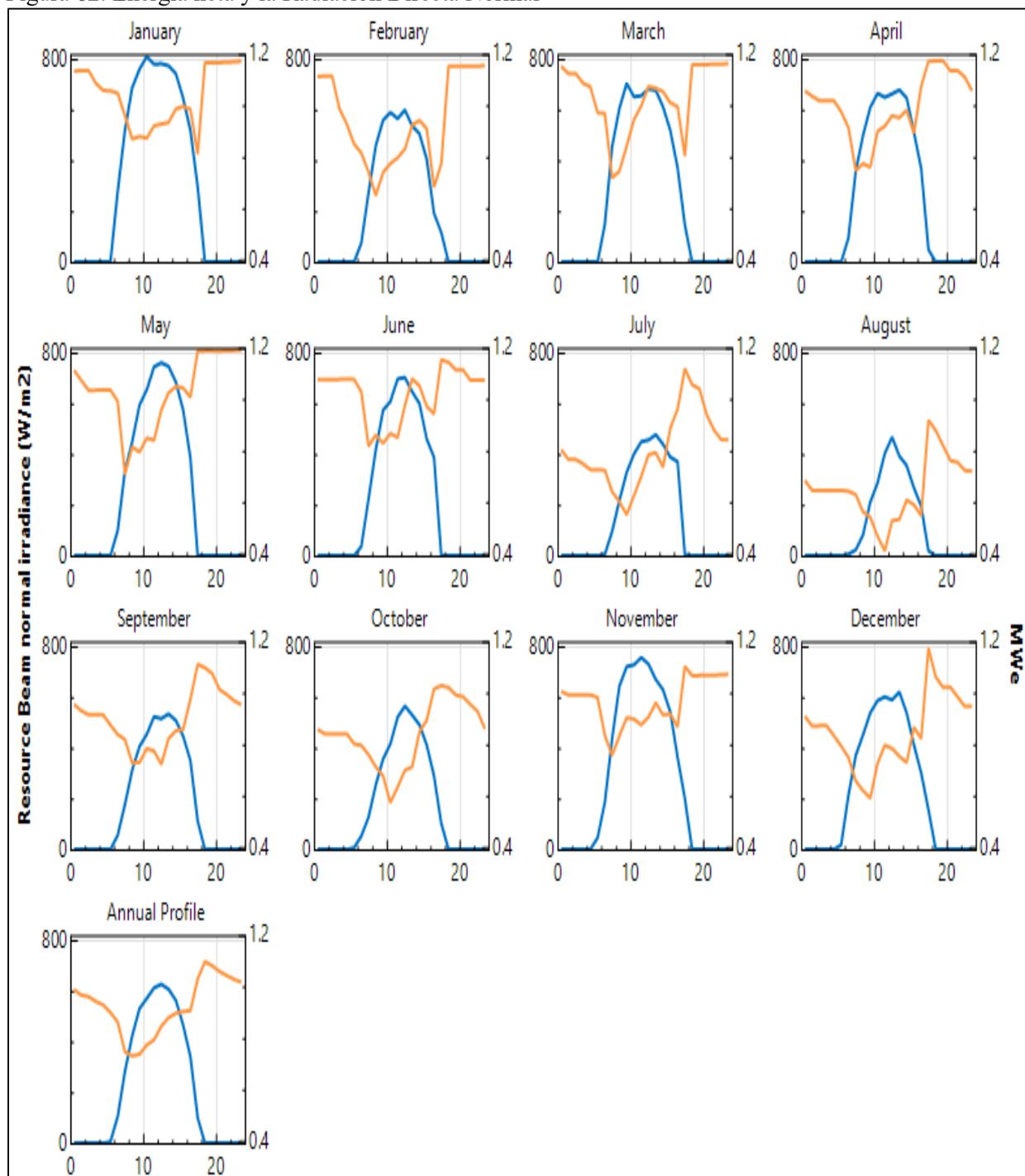
Figura 61. Energía Bruta y Neta



Fuente: Elaboración propia a partir de la simulación en SAM

En la figura 62 se observa la energía neta en línea naranja y la DNI en línea azul donde se puede ver que se genera energía eléctrica incluso fuera del periodo de tiempo cuando existe radiación solar.

Figura 62. Energía neta y la Radiación Directa Normal

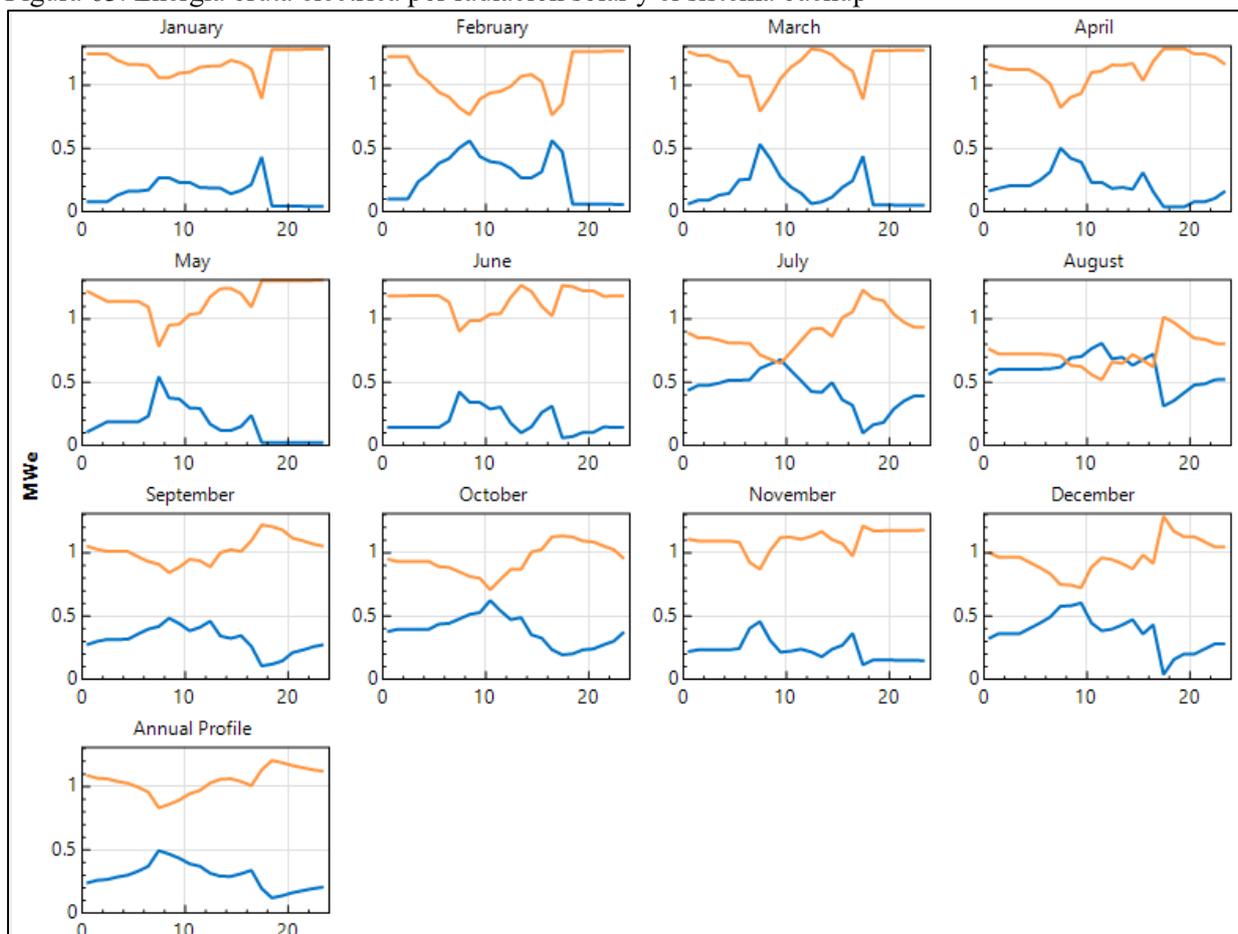


Fuente: Elaboración propia a partir de la simulación en SAM

5.10.5.2 Producción de energía eléctrica con sistema Backup. En la figura 63 se observa la energía eléctrica bruta generada por la captación de energía solar en naranja y por el sistema backup en azul compensando el periodo que no se puede generar energía eléctrica. Por otra parte, en la figura 64 se observa la energía eléctrica neta generada considerando la captación de energía solar y el sistema backup.

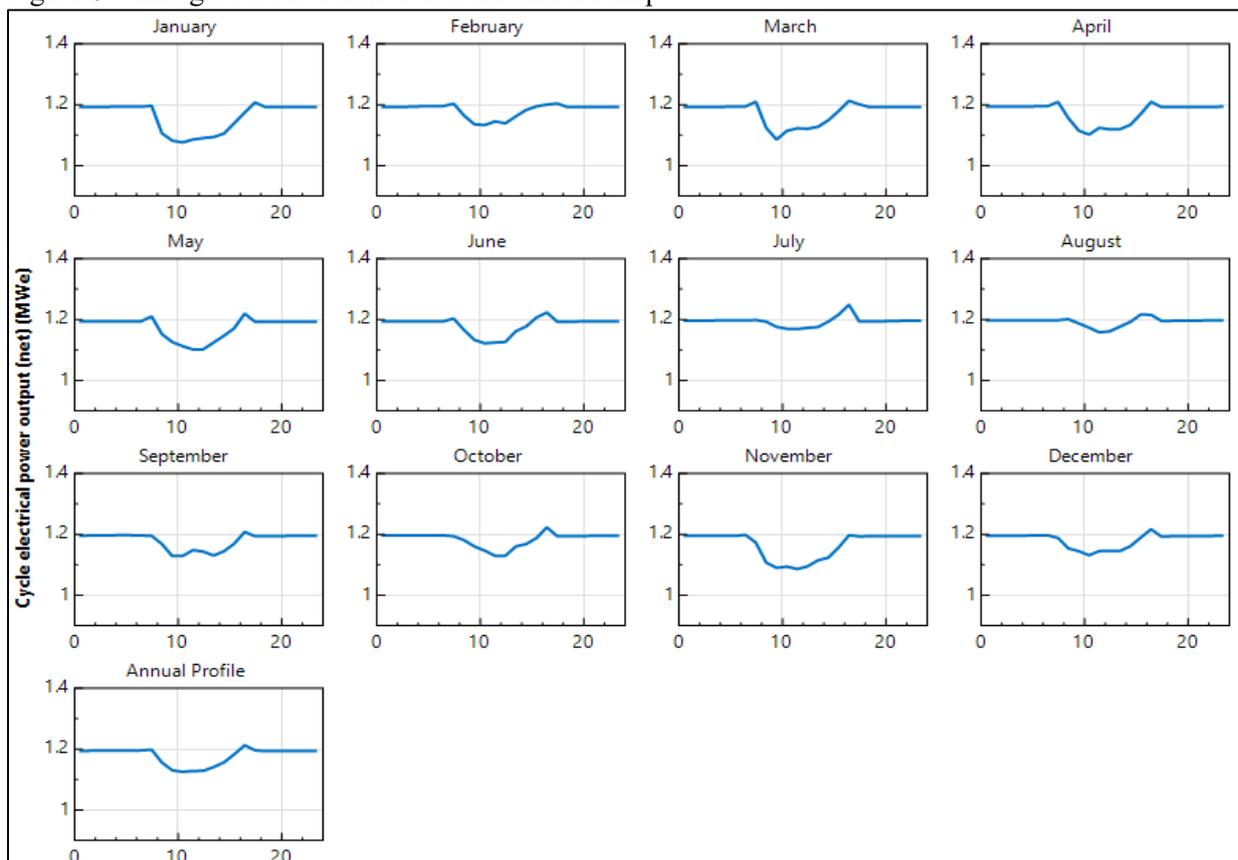
El sistema backup que se utilizó para las simulaciones es de una fracción de 0.25 para los periodos 1-2 y de una fracción de 0.4 para los periodos 6-7 de la plena capacidad de producción de energía eléctrica de la central, véase Anexo 2.

Figura 63. Energía bruta eléctrica por radiación solar y el sistema backup



Fuente: Elaboración propia a partir de la simulación en SAM

Figura 64. Energía eléctrica neta con el sistema Backup



Fuente: Elaboración propia a partir de la simulación en SAM

5.10.5.3 *Análisis demanda de energía vs producción de energía eléctrica.* En la tabla 18 se puede observar la producción de energía eléctrica de la central termosolar sin sistema backup y con sistema backup comparando con la demanda de energía obtenida del Anexo 4. Además, se puede ver que aumenta la producción de energía eléctrica con el sistema backup todos los meses esto es con el fin de suministrar energía eléctrica en periodos críticos que puedan presentarse en la operación de la central. Por otra parte, se observa que la producción de energía eléctrica es mayor que la demanda de energía eléctrica del año 2023, es en ese momento cuando se desenfocan los colectores para equiparar la producción de energía eléctrica a la demanda necesitada.

Tabla 18. Comparativa de la producción de energía eléctrica y la demanda

MES	PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA SIN SISTEMA BACKUP (kWh)	PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA CON SISTEMA BACKUP (kWh)	DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA 2023
Enero	737,671	827,610	274,509
Febrero	607,022	761,253	263,156
Marzo	734,870	836,215	279,158
Abril	689,281	809,673	276,797
Mayo	735,279	836,808	245,388
Junio	704,464	815,018	236,781
Julio	572,484	851,132	255,196
Agosto	461,969	850,707	250,867
Setiembre	622,080	813,421	242,247
Octubre	597,950	843,980	246,799
Noviembre	665,867	803,573	242,354
Diciembre	606,619	842,026	272,134
Total, Anual	7,735,557	9,891,415	3,085,386

Fuente: Elaboración propia

5.10.5.4 *Validación de Resultados.* Se acepta la hipótesis general, que sostiene que la propuesta de diseño de una central termosolar satisfará la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático. Para validar este diseño, se comparó su producción de energía sin sistema backup con los resultados obtenidos en investigaciones previas.

Artículo de Investigación 1: “Simulation and optimization of a Concentrating Solar Power Plant with Thermal Energy Storage in Sebha city by using system advisor model (SAM)”, de Alamen et. al.

Tabla 19. Comparativa de resultados del artículo de investigación 1 y la presente tesis en producción de energía eléctrica

MES	PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA DE LOS RESULTADOS DEL ARTICULO 1 (MWh)	PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA SIN SISTEMA BACKUP (MWh)
Enero	21,000	738
Febrero	27,000	607
Marzo	37,500	735
Abril	41,000	689
Mayo	43,000	735
Junio	44,000	704
Julio	45,000	572
Agosto	44,000	462
Setiembre	38,000	622
Octubre	32,000	598
Noviembre	21,000	666
Diciembre	18,000	607
Total, Anual	411,500	7,735

Fuente: Elaboración propia

En el artículo de investigación 1, la capacidad instalada de la central es de 100 MW con un sistema de almacenamiento de 10 hrs. y con una DNI en el sitio de 6 kwh/m²/año produce 411,500 MWh que representa un poco más de 53 veces lo que produce la central de 1.315 MW, con 24 hrs de almacenamiento y una DNI en el sitio de 5.23 kwh/m²-día como se muestra en la tabla 19. En definitiva, la relación de la capacidad instalada de las centrales es de 83 a 1, pero el sistema de almacenamiento de la central propuesta tiene 14 hrs. más de almacenamiento lo que se demuestra que los resultados de la presente tesis tienen coherencia a pesar de que la DNI en Ático es ligeramente menor.

Artículo de Investigación 2: “Design and Analysis of Parabolic Trough Collector Power Plant in Saudi Arabia”, de Asiri y Al Yahya.

Tabla 20. Comparativa de resultados del artículo de investigación 2 y la presente tesis en producción de energía eléctrica

MES	PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA DE LOS RESULTADOS DEL ARTICULO 2 MWh	PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA SIN SISTEMA BACKUP (MWh)
Enero	14,880	738

Febrero	16,800	607
Marzo	31,992	735
Abril	28,800	689
Mayo	30,504	735
Junio	38,160	704
Julio	38,688	572
Agosto	37,200	462
Setiembre	33,840	622
Octubre	26,040	598
Noviembre	14,400	666
Diciembre	10,416	607
Total, Anual	321,720	7,735

Fuente. Elaboración propia

En el artículo de investigación 2, la capacidad instalada de la central es de 100 MW con un sistema de almacenamiento de 6 hrs. y con una DNI en el sitio de 6.38 kwh/m²/año produce 321,720 MWh, que representa un poco más de 41 veces lo que produce la central de 1.315 MW con 24 Hrs de almacenamiento y una DNI en el sitio de 5.23 kwh/m²-día, como se muestra en la tabla 20. En definitiva, la relación de la capacidad instalada de las centrales es de 83 a 1 pero la central de 100 MW tiene 18 horas menos de almacenamiento que la de 1.315 MW a plena capacidad y que el DNI en el sitio de la central de 1.315 MW es menor que del sitio de la central de 100 MW, demuestra que los resultados de la presente tesis tienen coherencia.

CONCLUSIONES

- La propuesta de diseño de una central termosolar, basada en la tecnología de cilindros parabólicos, seleccionada por su viabilidad frente a otras tecnologías y por su disponibilidad del recurso solar es capaz de generar 7,735,557 kWh anuales, satisfaciendo la demanda de energía eléctrica del Sistema Eléctrico Aislado de Ático 2023, de 3,085,386 kWh.
- Se identificaron los recursos de generación eléctricas Renovables no Convencionales, llegando a la conclusión que, por disponibilidad de recurso solar, las centrales fotovoltaicas y termosolares son viables para su diseño, debido a que, en el lugar de estudio posee un DNI de 1908.9 kWh/m²-año.
- Se identificaron las tecnologías de generación eléctrica solar, eligiéndose las tecnologías termosolares por su capacidad de almacenamiento térmico, lo que le permite operar prolongadamente cuando no hay radiación solar a diferencia de las fotovoltaicas. Dentro de estas, la configuración de colectores cilindros parabólicos es la opción más adecuada, ya que se trata de la tecnología más madura en comparación con los Sistemas Fresnel y de Torre Central. Además, ofrece una notable capacidad de modularidad y escalabilidad, lo que la hace especialmente adaptable a diferentes tamaños de proyecto. Si bien la tecnología de Torre Central puede alcanzar una eficiencia anual superior, entre el 20 % y 35 %, carece de la capacidad de modularidad y escalabilidad, a diferencia de los colectores cilindro-parabólicos, cuya eficiencia anual se sitúa alrededor del 15 %.
- El diseño de una central termosolar de 1.315 MW con 24 horas de almacenamiento térmico con los siguientes componentes: colector Eurotrough, tubo absorbedor Schott PTR 70, fluido caloportador Therminol PV1, fluido de almacenamiento térmico de Sales Fundidas satisface la demanda del Sistema Eléctrico Aislado de Ático generando 7,735,557 kWh anuales. Asimismo, se cuenta con un sistema Backup como respaldo que genera 9,891,415 kWh anuales.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de laboratorios de energías renovables en la UNSAAC, donde se puedan desarrollar investigaciones más profundas y especializadas en la generación de energías limpias. Con el fin de fortalecer las capacidades académicas y técnicas de los alumnos, para enfrentar los retos energéticos de la actualidad.
- Se recomienda a los lectores desarrollar un estudio técnico del impacto operativo que tiene una central termosolar al Sistema Interconectado Nacional (SEIN). Para evaluar su viabilidad operativa.
- Una de las principales tendencias en la modernización de los sistemas eléctricos es el almacenamiento de energía. Es fundamental abordar estudios que consideren el almacenamiento en las etapas de generación, transmisión y distribución de la energía, con el objetivo de fortalecer la resiliencia y la eficiencia de los sistemas eléctricos.

BIBLIOGRAFIA

- Aqachmar, Amine, Abdelmajid, Belgacem y Tarik (2019) Parabolic trough solar thermal power plant Noor I in Morocco <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544219307935>
- Agencia Internacional de Energía IEA (2023) Perspectivas Energeticas Mundiales 2023 <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/executive-summary?language=es>
- Agencia Internacional de Energias Renovables IRENA (2023) *Renewable energy policies for the energy transition* <https://www.irena.org>
- Álvarez B. (2015). Optimización del control del sistema de aceite térmico en centrales solares termoeléctricas <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/33251>
- Aquae Fundación (s.f.) Diferencias entre solsticios y equinoccio <https://www.solarpaces.org/>
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/que-es-solsticio/>
- Arrieta E., (2020) Diseño y Análisis básico de una central solar térmica <https://e-archivo.uc3m.es/entities/publication/5cf8af16-d598-4fd6-bc03-7b8efaf60468>
- Asiri, IM, AL-Yahya, S., (2021) Design and Analysis of Parabolic Trough Collector Power Plant in Saudi Arabia <https://tuengr.com>
- Asim Ahmad et. al. (2023) Parabolic trough solar collectors: A sustainable and efficient energy source https://www.researchgate.net/publication/373216597_Parabolic_trough_solar_collectors_A_sustainable_and_efficient_energy_source
- Banco Mundial. (2022). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Recuperado de <https://www.worldbank.org>
- Caracciolo G. (2014) Guía 1 Ciclo Rankine <https://conversionenergiaunefm.files.wordpress.com/2009/05/guia-ciclo-rankine-iii-091.pdf>
- Carrera P., (2019) UTEC, Análisis técnico y económico de la implementación de una planta de energía termosolar de concentración de tipo cilindro parabólico (CSP-PTC) y de su hibridación. https://cris.utec.edu.pe/ws/portalfiles/portal/21794853/Carrera_tesis.pdf
- Duffie y Beckman (2013) 4ta edición “Solar Engineering of Thermal Processes” <https://www.sku.ac.ir/Datafiles/BookLibrary/45/John%20A.%20Duffie,%20William>

[%20A.%20Beckman\(auth.\)-](#)

[Solar%20Engineering%20of%20Thermal%20Processes,%20Fourth%20Edition%20\(2013\).pdf](#)

Enel Green Power (2023) Sistemas de generación de energía a partir de la corriente de las mareas https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-marina/energia-mareomotriz?utm_source=chatgpt.com

Engineering ToolBox. (s.f). Angle of Repose for Different Materials. The Engineering ToolBox. https://www.engineeringtoolbox.com/dumping-angles-d_1531.html

Fernández-García et al. (2010) “Parabolic-trough solar collectors and their applications” https://www.researchgate.net/publication/230794088_Parabolic-trough_solar_collectors_and_their_applications

Food and Agriculture Organization [FAO \(2023\)](#) Biogas: fundamentals, process, and operation. FAO. Recuperado de <https://www.fao.org>

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2012) Guia Tecnica de la Energia Solar Termoelectrica <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2012/03/Guia-Tecnica-de-la-Energia-Solar-Termoelectrica-fenercom-2012.pdf>

García P. (2013) Análisis de las pérdidas térmicas en un receptor de cavidad, en instalación solar de torre central. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/4059/360967.pdf;jsessionid=E9A918D705FF76187C2AEFD9BB918D95?sequence=1>

Gómez de la Torre (2019) Universidad de Lima, Estudio de Pre Factibilidad para la instalación de una planta generadora de electricidad de 120 MW por medio de concentradores solares cilindros parabólicos <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3320690?show=full>

Greenpeace (2020) Energía Solar Térmica de Concentración. https://www.academia.edu/39011661/Energ%C3%ADa_Solar_T%C3%A9rmica_de_Concentraci%C3%B3n

Guillamon (2012) Universidad Politécnica de Madrid “Central termosolar de 50 MW en Murcia con colectores cilindro parabólicos” <https://oa.upm.es/14008/>

Hernández et al. (2010) Metodología de la Investigación <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Ingemmet (2023) Potencial Geotermico del Peru <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5448555/4864887-afiche-potencial-geotermico-del-peru.pdf>

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017).** Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. INEI. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe>
- Kincaid et. al. (2018) An Optical Performance Comparison of Three Concentrating Solar Power Collector Designs in Linear Fresnel, Parabolic Trough, and Central Receiver <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261918314648>
- Laboratorio Nacional de Energías Renovables [NREL] (s.f.) System Advisor Model <https://sam.nrel.gov/concentrating-solar-power.html>
- Luis Candela (2020) Calcular, dimensionar o diseñar sistemas fotovoltaicos <https://www.linkedin.com/pulse/calcular-dimensionar-o-dise%C3%B1ar-sistemas-fotovoltaicos-luis-candela/>
- Ibthisum, Muntasir, Zihad, Hasan, Monjurul (2023) Conventional and Emerging CSP Technologies and Design Modifications: Research Status and Recent Advancements <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666202723001234>
- Mehos, M., Turchi, C., et al., (2017) Hoja de ruta para la demostración de energía solar concentrada <https://research-hub.nrel.gov/en/publications/concentrating-solar-power-gen3-demonstration-roadmap>
- Miguel Serrano (2021) La Lupa Fresnel y sus beneficios <https://www.venoptix.com/lupa-fresnel/>
- Ministerio de Energía y Minas (2016) Atlas Eólico del Perú <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00367.pdf>
- M. Liu et al. (2016) Renewable and Sustainable Energy Reviews pag.53 <https://www.sciencedirect.com/journal/renewable-and-sustainable-energy-reviews>
- Alamen, Hossin, y Salem (2021) Simulation and optimization of a Concentrating Solar Power Plant with Thermal Energy Storage in Sebha city by using system advisor model (SAM) <https://sebha.edu.ly/journal/jopas/article/view/1718>
- Osinermin (2023) Catalogo de Instalaciones de Generación Aislada en Alerta <https://www.osinermin.gob.pe/empresas/electricidad/generacion/instalaciones-generacion-aislada-alerta#>
- Pedro Hernandez (2014) Radiacion Directa, Difusa y Reflejada <https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>
- Presidencia del Consejo de Ministros PCM (s.f.) Plataforma de Geo Peru <https://www.geoidep.gob.pe/servicios-idep/visor-nacional-idep>
- Price, H., Lüpfer, E., Kearney, D., Zarza, E., Cohen, G., Gee, R., & Mahoney, R. (2002). Advances in parabolic trough solar power technology. *Journal of Solar Energy*

- Engineering*, 124(2), 109-125. <https://doi.org/10.1115/1.1467922>
<https://asmedigitalcollection.asme.org/solarenergyengineering/article-abstract/124/2/109/461471/Advances-in-Parabolic-Trough-Solar-Power?redirectedFrom=fulltext>
- Reyhaneh et al. (2020) A review of solar-driven organic Rankine cycles: Recent challenges and future Outlook <https://www.sciencedirect.com/journal/renewable-and-sustainable-energy-reviews>
- Romero C., (2021) UTEC, Análisis económico del impacto del desarrollo de proyectos termosolares en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional al 2030 https://cris.utec.edu.pe/ws/portalfiles/portal/21792327/Romero_Cavero_Tesis.pdf
- Salazar y Velarde (2023). Modelamiento de una línea de subtransmisión en 33 KV para interconectar el sistema eléctrico aislado de Ático, Arequipa - 2023 <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/20.500.14717/1205>
- Seal S.A.A. (2023) Plan Ambiental Detallado Central Térmica de Ático https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5587498/4962953-plan-ambiental-detallado_1.pdf?v=1703223944
- Solargis (2023) Prospect Solar resource and PV power potential <https://solargis.com/prospect>
- SolarPACES (s.f.) Concentrating Solar Power, Thermal and Chemical Energy Systems <https://www.solarpaces.org/>
- Stevenson (1996), Análisis de Sistemas de Potencia https://ianemartinez.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/04/analisis_de_sistemas_de_pot.pdf
- Tapia J. (2013) Planta Termosolar CCP <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/20345/fichero/Cap%C3%ADtulo+2++Anexos%252F07+-++Anexos.pdf>
- Turchi, C. , et al. (2019). "Pathway to SunShot: Advancing Concentrating Solar Power Technology, Performance, and Dispatchability." *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*. <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65688.pdf>
- Universidad de Sevilla (s.f.) El Ciclo de Rankine <https://departamento.us.es/deupfis1/Tecfluyc/Rankine.pdf>
- Universidad Nacional Autónoma de México (s.f.) Geometría Solar para Arquitectos Fuente.https://repositoriouapa.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/2835/mod_resource/content/1/UAPA-Geometria-Solar-Arquitectos/index.html
- Windy (2023) Wind speed data visualization <https://windy.app/es/forecast2/spot/409649/Arequipa+Per%C3%BA>

RELACION DE ANEXOS

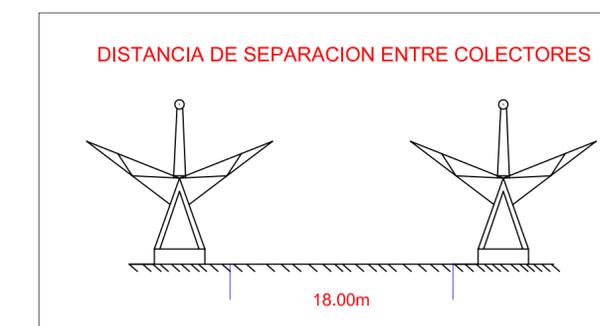
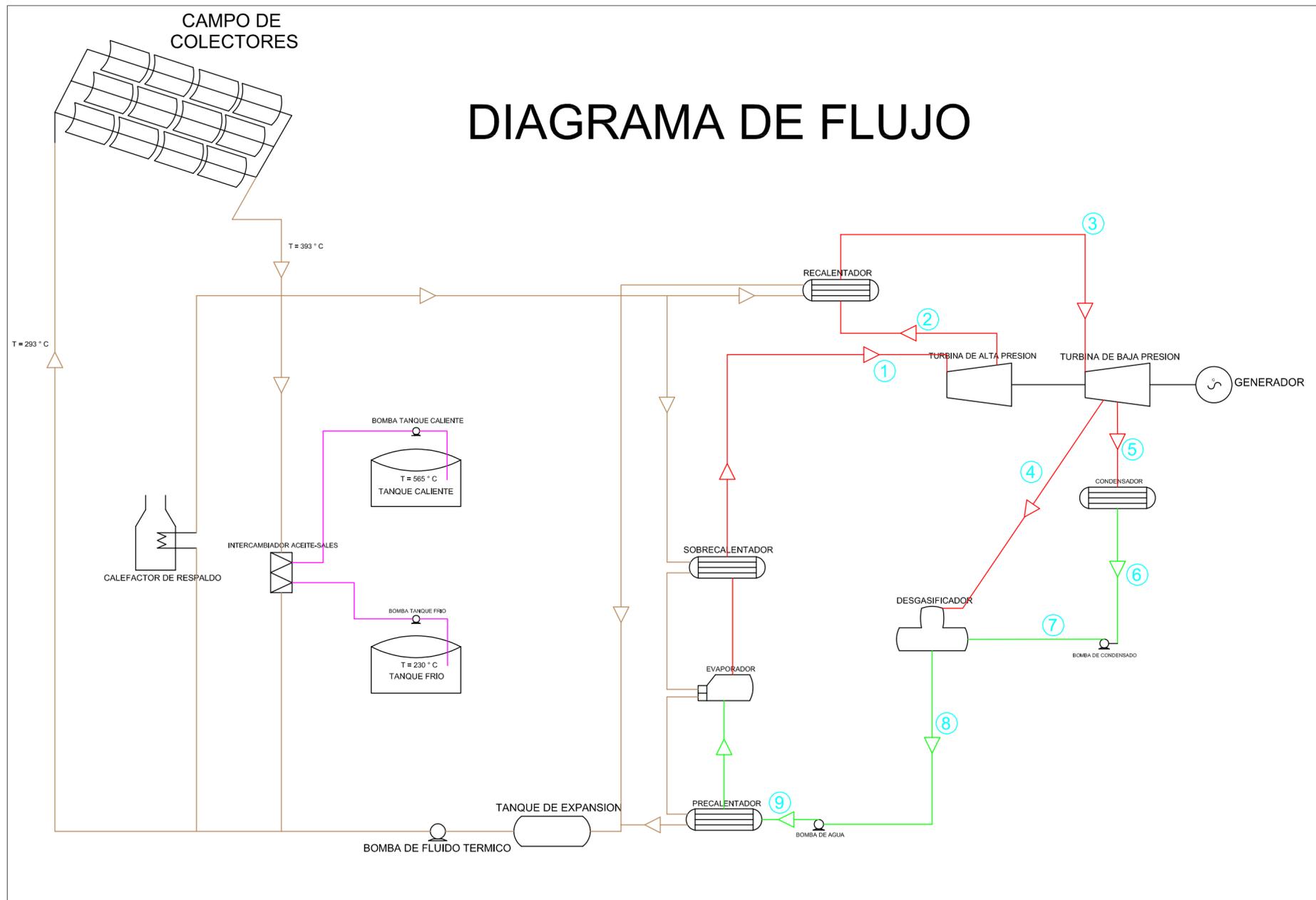
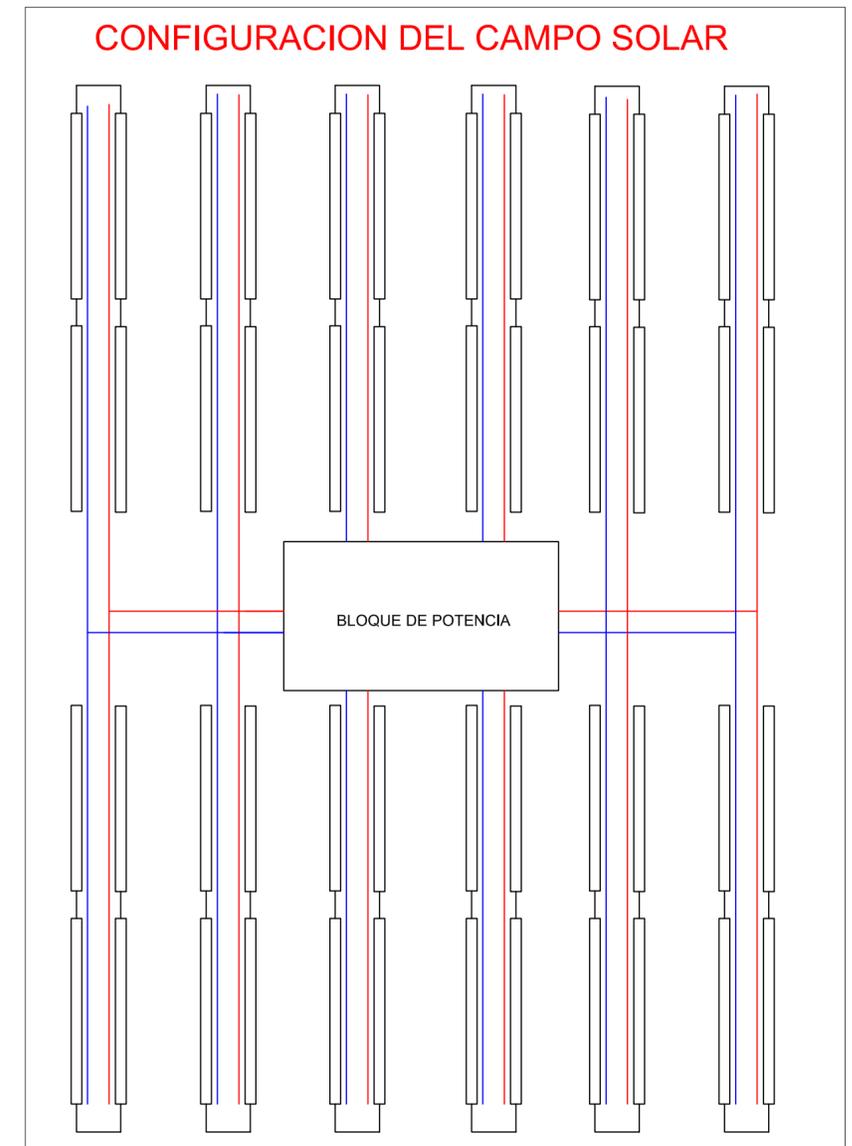
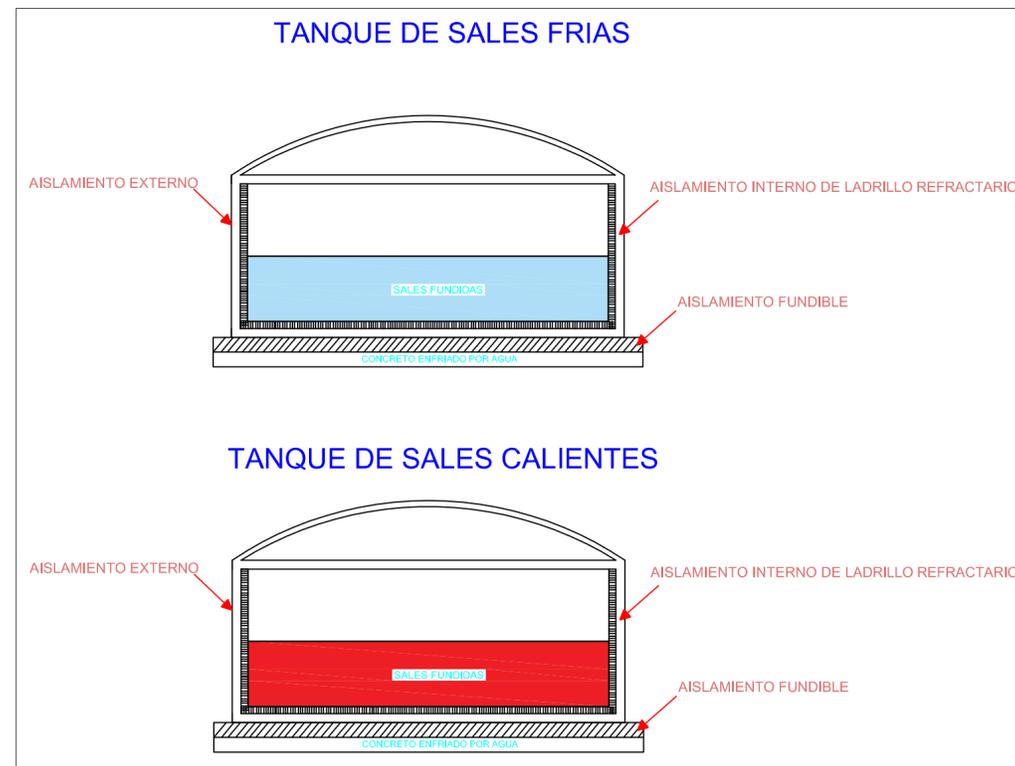
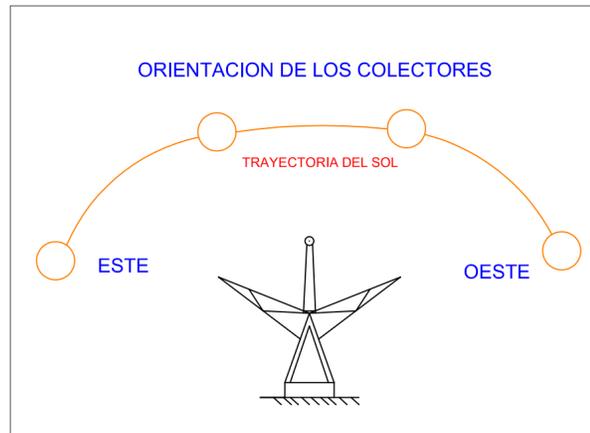
ANEXO 1. PLANO DEL DISEÑO DE LA CENTRAL TERMOSOLAR

ANEXO 2. SIMULACION EN SAM

ANEXO 3. FICHA TECNICA DEL GENERADOR

ANEXO 4. INFORMACION TECNICA SEAL

ANEXO 1



UNSAAC
110 AÑOS

UNIVERSIDAD UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECÁNICA Y DE SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA ELÉCTRICA
"PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA CENTRAL TERMOSOLAR PARA SATISFACER LA DEMANDA DEL SISTEMA ELÉCTRICO AISLADO DE ATICO - AREQUIPA"
UBICACIÓN DEPARTAMENTO: AREQUIPA PROVINCIA: CARAVELI DISTRITO: ATICO
AUTOR JAIR RICHERD SAIRE MOLINA
PLANO DISEÑO DE LA CENTRAL TERMOSOLAR
DIBUJO: J.R.S.M. Lámina FECHA: NOVIEMBRE 2024 ESCALA: INDICADA

01

ANEXO 2

SAM 2022.11.21: C:\Users\Usuario\Desktop\EREE.sam

File Add 2 untyped (1) untyped Help

Trough (empr), No financial

Location and Resource

Solar Field

Collectors (SCAs)

Receivers (HCEs)

Power Block

Thermal Storage

Parasitics

Grid Limits

Download Weather Files

The NSRDB is a database of thousands of weather files that you can download and add to your solar resource library. Download a default typical-year (TMY) file for most long-term cash flow analyses, or choose files to download for single-year or uncertainty (P50/P90) analyses. See Help for details.

One location
 Multiple locations
 60-minute
 30-minute
 Advanced download

Type a location name, street address, or lat,lon in decimal degrees Download files for all years Download and add to library...

[For locations not covered by the NSRDB, visit the SAM website Weather Page for links to other data sources.](#)

Weather Data Information

The following information describes the data in the highlighted weather file from the Solar Resource library above. This is the file SAM will use when you click Simulate.

Weather file: C:\Users\Usuario\SAM Downloaded Weather Files\ -16.226522_-73.611802_-16.226522_-73.611802_-16.2282_-73.611802 View data...

-Header Data from Weather File-

Latitude	-16.23 degrees	Location	1256983
Longitude	-73.62 degrees	Data Source	NSRDB
Time zone	GMT -5	For NSRDB data, the latitude and longitude shown here from the weather file header are the coordinates of the NSRDB grid cell and may be different from the values in the file name, which are the coordinates of the requested location.	
Elevation	50 m		
Time step	60 minutes		

CSP models use a different time convention than NREL NSRDB data. See Help for details.

-Annual Averages Calculated from Weather File Data-

Global horizontal	5.84 kWh/m ² /day	-Optional Data-
Direct normal (beam)	5.23 kWh/m ² /day	
Diffuse horizontal	2.14 kWh/m ² /day	
Average temperature	23.0 °C	
Average wind speed	1.9 m/s	*NaN indicates missing data.

Simulate >

Parametrics Stochastic

P50 / P90 Macros

Windows taskbar: Noticias para usted 2:07 04/03/2025

- Trough (empr), No financial
- Location and Resource
- Solar Field
- Collectors (SCAs)
- Receivers (HCEs)
- Power Block
- Thermal Storage
- Parasitics
- Grid Limits

Simulate >

Parametrics Stochastic

P50 / P90 Macros

Field Layout

Option 1: Solar Multiple

Option 2: Solar Field Area m²

Distance Between SCAs in Row m

Row Spacing, Center to Center m

Number of SCAs per Row

Deploy Angle deg

Stow Angle deg

Heat Transfer Fluid

Solar Field HTF Type

Field HTF Min Operating Temp. °C

Field HTF Max Operating Temp. °C

Solar Field Inlet Temp. °C

Solar Field Outlet Temp. °C

Solar Field Initial Temp. °C

Piping Heat Loss at Design Temp. W/m²

Piping Heat Loss Coefficient 1

Piping Heat Loss Coefficient 2

Piping Heat Loss Coefficient 3

Solar Field Piping Heat Losses W/m²

Minimum HTF Temp. °C

HTF Gallons per Area gal/m²

Solar Multiple (Design Point)

Calculated Values

Solar Multiple

Aperture Reflective Area m²

Solar Multiple Reference Conditions

Ambient Temp. °C

Direct Normal Radiation W/m²

Wind Velocity m/s

Reference Condition (SM=1)

Exact Aperture Reflective Area m²

Exact Number of SCAs

Values From Other Pages

Aperture Area per SCA m²/SCA

HCE Thermal Losses W/m²

Optical Efficiency

Design Turbine Thermal Input MWt

Orientation

Collector Tilt deg

Collector Azimuth deg

Tilt: horizontal=0, vertical=90

Azimuth: equator=0, west=90, east=-90

Land Area

Solar Field Land Area acres

Non-Solar Field Land Area Multiplier

Total Land Area acres

- Trough (empr), No financial
- Location and Resource
- Solar Field
- Collectors (SCAs)
- Receivers (HCEs)
- Power Block
- Thermal Storage
- Parasitics
- Grid Limits

Solar Collector Assembly (SCA) Library

Filter: Name

Name	SCA Length	Aperture	Aperture Area	Focal Len	IAM Coefficient F0	IAM Coefficient F1	AM C ^
EuroTrough ET150	150	5.75	817.5	2.1	1	0.0506	-0.176
Luz LS-2	50	5	235	1.8	1	0.0506	-0.176
Luz LS-3	100	5.75	545	2.1	1	0.0506	-0.176
Solargenix SGX-1	100	5	470.3	1.8	1	0.0506	-0.176
AlbianaTrough AT150 (Manufacturer Specifications)	150	5.774	817.5	1.71	1	0.0506	-0.176
Siemens SunField 6	95.2	5.776	545	2.17	1	-0.0753	-0.036

Solar Collector Assembly (SCA) Properties

Use library values

SCA Length	<input type="text" value="150"/> m	Tracking Error and Twist	<input type="text" value="0.99"/>
SCA Aperture	<input type="text" value="5.75"/> m	Geometric Accuracy	<input type="text" value="0.98"/>
SCA Aperture Reflective Area	<input type="text" value="817.5"/> m2	Mirror Reflectance	<input type="text" value="0.935"/>
Average Focal Length	<input type="text" value="2.1"/> m	Mirror Cleanliness Factor (avg)	<input type="text" value="0.97"/>
Incidence Angle Modifier Coef. F0	<input type="text" value="1"/>	Dust on Envelope (avg)	<input type="text" value="0.98"/>
Incidence Angle Modifier Coef. F1	<input type="text" value="0.0506"/>	Concentrator Factor	<input type="text" value="1"/>
Incidence Angle Modifier Coef. F2	<input type="text" value="-0.1763"/>	Solar Field Availability	<input type="text" value="0.99"/>

Simulate > 

Parametrics Stochastic

P50 / P90 Macros

- Trough (empr), No financial
- Location and Resource
- Solar Field
- Collectors (SCAs)
- Receivers (HCEs)
- Power Block
- Thermal Storage
- Parasitics
- Grid Limits

Heat Collection Element (HCE) / Receiver Library

Filter: Name

Name	Broken	Bellows	Transmissivity	Absorption	Unaccounted	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Luz Cermet Vacuum	0	0.971	0.935	0.925	1	2.4237	0.21369	-0.00047461	6.88E-06	9.62E-08	-2.2
Luz Cermet Lost Vacuum	0	0.971	0.935	0.925	1	0.64628	0.82543	-0.00014146	5.96E-06	4.18E-08	-5.6
Luz Cermet Broken Glass	1	0.971	1	0.8	1	100.05	-0.73508	-0.0086348	2.67E-05	6.65E-07	-99
Luz Cermet Hydrogen	0	0.971	0.935	0.925	1	7.0233	1.2752	0.0015105	5.05E-06	7.03E-08	-4.2
Luz Cermet/Fluorescent	0	0.971	0.7	0.8	1	0.64628	0.82543	-0.00014146	5.96E-06	4.18E-08	-5.6
Solel UVAC2 Vacuum	0	0.971	0.96	0.96	1	1.8615	0.18741	-0.0011594	6.60E-06	8.80E-08	-0.9
Solel UVAC2 Lost Vacuum	0	0.971	0.96	0.96	1	-0.16634	0.87716	-0.00075942	5.77E-06	4.45E-08	-4.2
Solel UVAC2 Broken Glass	1	0.971	1	0.9	1	116.25	-0.97124	-0.010638	2.93E-05	7.35E-07	-10
Solel UVAC2 Hydrogen	0	0.971	0.96	0.96	1	9.2419	1.3648	0.0010516	4.80E-06	9.26E-08	-3.7
Solel UVAC3 Vacuum	0	0.971	0.96	0.96	1	0.6364	0.1136	-0.0008	4.99E-06	6.59E-08	-0.9

Heat Collection Element (HCE) / Receiver Properties

	Receiver 1	Receiver 2	Receiver 3	Receiver 4
	<input type="button" value="Apply Library"/>			
Name from Library	<input type="text" value="Solel UVAC3"/>			
Condition from Library	<input type="text" value="Vacuum"/>	<input type="text" value="Vacuum"/>	<input type="text" value="Vacuum"/>	<input type="text" value="Vacuum"/>
	<input type="checkbox"/> Broken Glass			
Percent of Solar Field:	<input type="text" value="0.985"/>	<input type="text" value="0.01"/>	<input type="text" value="0.005"/>	<input type="text" value="0"/>
Optical Parameters:				
Bellows Shadowing	<input type="text" value="0.971"/>	<input type="text" value="0.971"/>	<input type="text" value="0.971"/>	<input type="text" value="0.971"/>
Envelope Transmissivity	<input type="text" value="0.96"/>	<input type="text" value="0.96"/>	<input type="text" value="0.96"/>	<input type="text" value="0.96"/>
Absorber Absorption	<input type="text" value="0.96"/>	<input type="text" value="0.96"/>	<input type="text" value="0.96"/>	<input type="text" value="0.96"/>
Unaccounted	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
Optical Efficiency (HCE)	<input type="text" value="0.772"/>	<input type="text" value="0.772"/>	<input type="text" value="0.772"/>	<input type="text" value="0.772"/>
Optical Efficiency (Weighted)	<input type="text" value="0.772"/>			

Simulate >

Parametrics Stochastic

P50 / P90 Macros

- Trough (empr), No financial
- Location and Resource
- Solar Field
- Collectors (SCAs)
- Receivers (HCEs)
- Power Block
- Thermal Storage
- Parasitics
- Grid Limits

Plant Characteristics

Design Gross Output MWe

Estimated Gross to Net Conversion Factor

Estimated Net Output at Design MWe

Parasitic losses typically reduce net output to approximately 90 % of design gross power

System Availability

[Edit losses...](#) Constant loss: 4.0 %
Time series losses not enabled
Custom periods not enabled

System availability losses reduce the system output to represent system outages or other events.

Power Cycle Library

Filter: Description

Description	Type	Efficiency	Max Output	Min Output	Startup Energy	TEF0	TEF1	TEF2
APS Ormat 1MWe 300C	Recuperated ORC Wet Cooling	0.2071	1.15	0.25	0.05	-0.1594	0.9262	1.1349
Dry Cooled SEGS 80 MWe Turbine	Steam RH Dry Cooling	0.3774	1.15	0.25	0.2	-0.037726	1.0062	0.076316
Siemens 400C HTF	Steam RH Wet Cooling	0.3736	1.15	0.25	0.2	-0.0298	0.7219	0.7158
Nexant 500C HTF	Steam RH Wet Cooling	0.4076	1.15	0.25	0.2	-0.0253	1.0262	0

Power Cycle Properties

Use library values

Description from Library

Design Cycle Thermal Input MWt

Rated Cycle Conversion Efficiency

Max turbine over design operation*

Min turbine operation*

Frac of thermal power for startup

Boiler LHV Efficiency

Max. Thermal Input MWt

Min. Thermal Input MWt

	F0	F1	F2	F3	F4
Cycle Part-load Therm to Elec	-0.037726	1.0062	0.076316	-0.044775	0
Cycle Part-load Elec to Therm	0.03737	0.98823	-0.064991	0.039388	0
Cooling Tower Correction	1.00873	0.00435842	-0.00025102	-9.02e-07	4.82e-08

Temp. Correction Mode

* Fraction of Design Point

Simulate >

Parametrics Stochastic

P50 / P90 Macros

- Trough (empr), No financial
- Location and Resource
- Solar Field
- Collectors (SCAs)
- Receivers (HCEs)
- Power Block
- Thermal Storage
- Parasitics**
- Grid Limits

Reference Parasitic Electric Energy Use Library

Filter: Name

Name	SF Const	SF Partload	HTFPump Const	HTFPump Partload	HTFPump F0	HTFPump F1	HTFPump F2	TES Const	TES Part
500C Molten Salt HTF	2.66E-07	0.5	1.052E-05	0.35	-0.036	0.242	0.794	0.02	0.35
450C Molten Salt HTF	2.66E-07	0.5	1.052E-05	0.5	-0.036	0.242	0.794	0.02	0.5
550C Molten Salt HTF	2.66E-07	0.5	1.052E-05	0.3	-0.036	0.242	0.794	0.02	0.3
SEGS VIII Reference	2.66E-07	1	1.052E-05	1	-0.036	0.242	0.794	0.02	1

Parasitic Electric Energy Use

Solar Field Area: m2
 Gross Turbine Output: MWe

Use library values

	Value	Unit	PF	F0	F1	F2	Design Point Parasitics
SCA Drives & Electronics	<input type="text" value="2.66e-07"/>	MWe/m2	<input type="text" value="1"/>				<input type="text" value="0.016"/> MWe
Solar Field HTF Pumps	<input type="text" value="1.052e-05"/>	MWe/m2	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="-0.036"/>	<input type="text" value="0.242"/>	<input type="text" value="0.794"/>	<input type="text" value="0.624"/> MWe
TES Pumps	<input type="text" value="0.02"/>	MWe/MWe	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="-0.036"/>	<input type="text" value="0.242"/>	<input type="text" value="0.794"/>	<input type="text" value="0.114"/> MWe
Antifreeze Pumping	<input type="text" value="0.1"/>	fraction					<input type="text" value="0.062"/> MWe
Power Block Fixed	<input type="text" value="0.0055"/>	fraction					<input type="text" value="0.031"/> MWe
Balance of Plant	<input type="text" value="0.02457"/>	MWe/MWe	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0.483"/>	<input type="text" value="0.517"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0.141"/> MWe
Heater & Boiler	<input type="text" value="0.02273"/>	MWe/MWe	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0.483"/>	<input type="text" value="0.517"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0.130"/> MWe
Cooling Towers	<input type="text" value="0.017045"/>	MWe/MWe	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="-0.036"/>	<input type="text" value="0.242"/>	<input type="text" value="0.794"/>	<input type="text" value="0.097"/> MWe

Cooling Tower Operation Mode:

Total Design Point Parasitics: MWe

- Simulate >**
- Parametrics
- Stochastic
- P50 / P90
- Macros

 PRODUCT NOTE

Medium and high voltage generators for steam and gas turbines

Reliable distributed power from 0.9 to 7.8 MVA



Standard industrial product family

As the global technology leader in motors and generators, ABB has expertise in different types of applications to help OEMs and end-users achieve even better performance. We build generators to the strictest manufacturing standards.

Our products are used even in the biggest gensets with common base frames, and in demanding marine and offshore applications.

The new 500 – 630 frame size generators extend our broad offering into the 0.9 – 7.8 MVA power range at voltages of 3.3 – 13.8 kV. They are ideal for renewable applications and cogeneration in offshore platforms. These open air, TEWAC or TEAAC cooled, 4-, 6-, 8- and 10-pole synchronous generators feature H-class insulation. High performance PMG excitation is standard, complemented by an analog or digital AVR. Optional accessories enable easy customer interface adaptation.

The generators are built for continuous operation over a 30-year lifetime. ABB can provide marine classifications for offshore application if needed, e.g. waste heat recovery units (WHRUs), in which turbine expanders exploit the exhaust heat from the ship's diesel engines.

Future-proof design means significant savings

The standard platform design needs only few frame lengths to cover the whole power range, providing

ABB is expanding its offering to cover standard mid-range generators for turbine OEMs. Ideal for heavy duty applications; the new compact, high performance generators offer short delivery times and easy installation. ABB's globally identical production processes ensure high quality, easy sourcing and efficient logistics.

scope for complete designs in the future.

No additional length is required when adding filters for the IP44 option, and the same foot design is suitable for all protection classes. The large terminal space has room for optional bus bars, PTs and CTs.

Professional features in a standard generator series

The innovative built-in exciter and PMG unit, as well as the integrated main and auxiliary terminals and AVR, make the generators compact and easy to install – factors that are important in the turbine package design.

For grid operation, ABB's cutting-edge digital AVR option completes the high performance generator package. ABB is the technology leader in grid code compliant LVRT (low voltage ride through) systems, and the digital AVR not only offers power factor regulation, voltage matching and limiters but also built-in diode monitoring and auto-synchronization. Its fast voltage dip detection keeps the genset connected to the network during fault situations.

As a generator manufacturer, ABB can work together with customers to interpret the grid code and determine which requirements apply to generators. ABB can then assist in selecting the correct generator to comply with the requirements and therefore to achieve certification.

Reliable ABB generators with global manufacturing and technical support

—
01 ABB's rigid salient pole rotor construction enables reliable operation under the most demanding load conditions.

High reliability and performance

ABB applies advanced design methods like FEM simulation and CFD, enabling OEMs to produce rigid, turbine package designs with low vibration and a long operational lifetime. 3D models can be supplied to help OEMs to rapidly prepare documentation for their complete system offering.

ABB generators have quality built in to their design, materials and manufacturing processes. Purchases are sourced from reliable vendors only and thorough testing is performed at all stages of manufacturing.

Both the stator and rotor use reliable ABB form wound windings and vacuum pressure impregnation – which has proven itself for more than 30 years in tens of thousands of large motors and generators that are operating successfully all over the world. Our advanced insulation system gives the windings superior strength to withstand vibration, and mechanical and electrical stresses. ABB uses many different ways to minimize harmonics, such as 5/6^{*)} winding pitch which reduces all significant harmonics to minimum levels. A 2/3 pitch winding, which eliminates only the 3rd harmonic, can be provided on request.

^{*)} Exact pitch may vary slightly case by case.

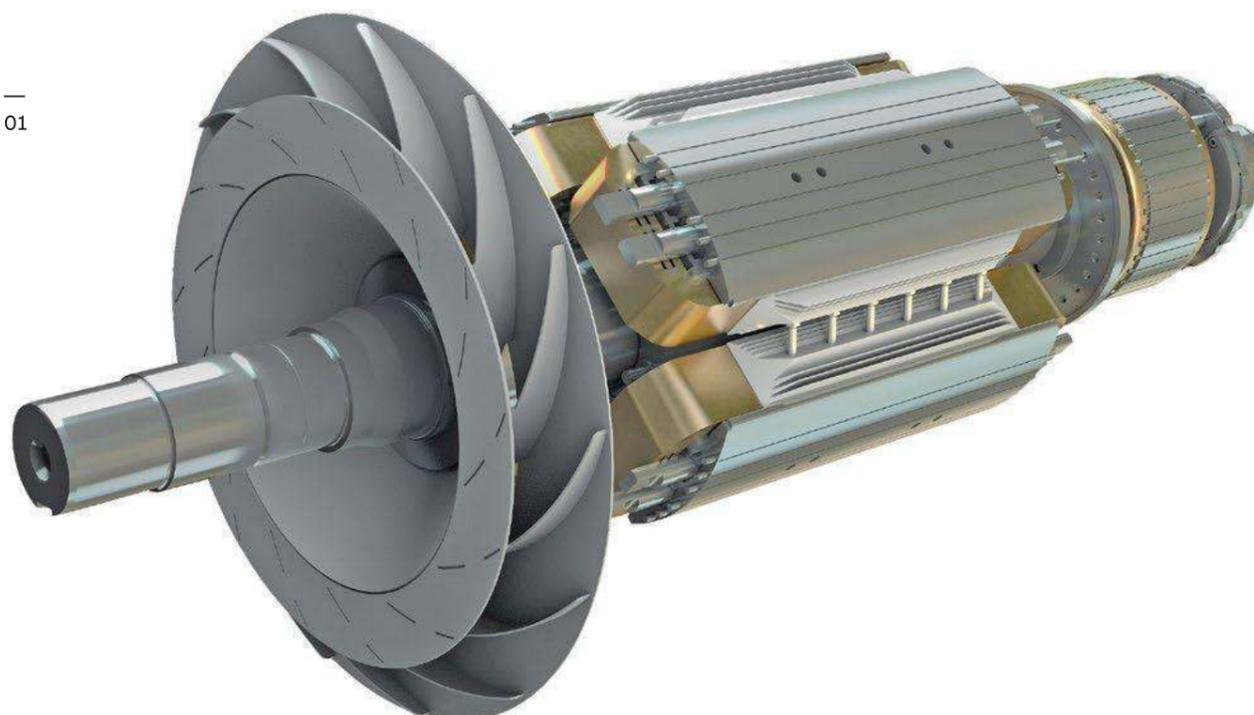
Together with our expertise in a wide range of bearing constructions, this results in high availability and troublefree operation.

The new standard product family offers the same high reliability and low cost of ownership as our proven high power generators. It provides a cost-efficient solution with the fastest delivery times, backed by ABB's global engineering, manufacturing and service network, and local presence around the world.

Optimized sourcing and logistics

ABB is a truly global company that offers its customers a complete portfolio of products – so OEMs can get all the products they need on time, wherever they are located.

This new generator is designed, manufactured and supported globally. It is produced in globally identical high quality manufacturing processes, and is backed by local engineering support. As a result our customers can benefit from short delivery times with optimized sourcing and logistics.



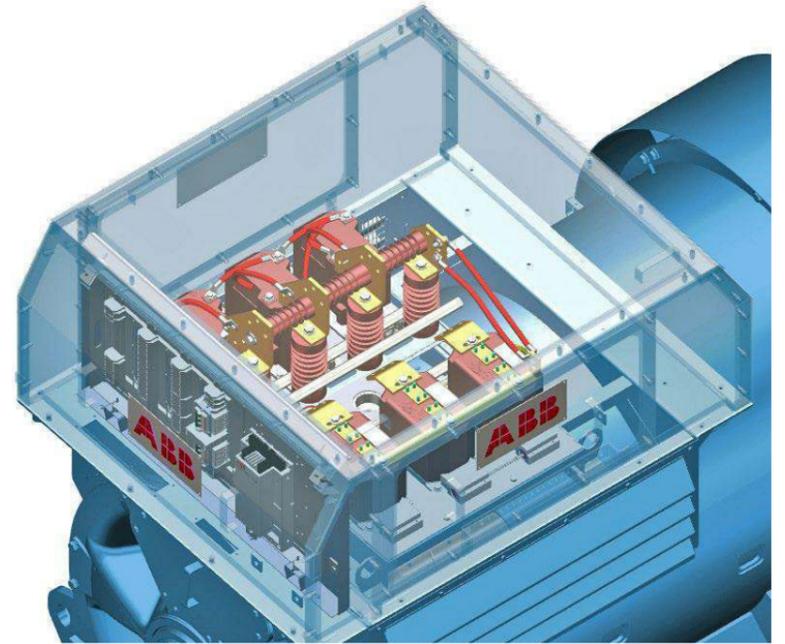
Professional features in standard generator series

02 ABB's cutting-edge digital AVR option makes for a reliable generator package without needing external synchronization or diode monitoring units.

03 Large, integrated terminal space in top of frame for easy installation of cables, transformers and AVR, with a clever cooling function.

Key benefits

- Compact in size and easy to install
 - built-in exciter and PMG
 - large terminal unit with built-in AVR
- Adaptability with short delivery times
 - standard platform for serial manufacturing with optional accessories
 - ETO range with pre-engineered configurations
- Reliable operation under changing and non-linear loads
 - good short-circuit, overload and motor starting capabilities
- Optimized sourcing and efficient logistics
 - globally identical ABB manufacturing processes
- Local support
 - backed by ABB's global service network
- Complete portfolio of products from single, reliable partner
 - independent supplier, technology and market leader with unrivalled experience



03

Technical data

Frame size	500 to 630
Power range	0.9 – 7.8 MVA
Voltage range	3.3 – 13.8 kV
Frequency	50 or 60 Hz
Pole number	4-, 6-, 8- and 10-pole (720 or 1800 rpm)
Cooling and protection	IC 0A1/ IP23, open air cooled IC8 A1W7 and IC616/ IP54
Mounting	IM1001 double bearings, normal feet
Main dimensions	500: 2480 x 1310 x 1730 mm (LWH) 560: 2700 x 1400 x 1850 mm (LWH) 630 A, B and C: 3163 x 1650 x 2049 mm (LWH) 630 D: 3363 x 1650 x 2049 mm (LWH)

Design features

Insulation class/ Temp. rise	F/F
Excitation method	PMG as standard
AVR type	Digital or analog
Winding pitch	5/6, (2/3 on request)
Connections	Top integrated terminals and AVR, 4 bus bars – 6 leads

Main options

- Cutting-edge digital AVR (advanced ABB Unitrol 1010)
- 6 bus bars, CTs and PTs for differential protection
- Air filters (with no power derating)
- Adaptable cable output, all directions with 45° angle cable tube

02



Proven ABB generators enable reliable power production with the lowest life time cost

ABB is the technology and market leader in motors and generators for all industrial and marine applications. We have supplied tens of thousands of large motors and generators to customers all over the world, based on more than 120 years of experience in the widest range of solutions.

ABB's global engineering, manufacturing and service network enables our customers to offer reliable and efficient power generation wherever they operate.

For more information please visit:

new.abb.com/motors-generators

We reserve the right to make technical changes or modify the contents of this document without prior notice. With regard to purchase orders, the agreed particulars shall prevail. ABB AG does not accept any responsibility whatsoever for potential errors or possible lack of information in this document.

We reserve all rights in this document and in the subject matter and illustrations contained therein. Any reproduction, disclosure to third parties or utilization of its contents – in whole or in parts – is forbidden without prior written consent of ABB AG. Copyright© 2019 ABB. All rights reserved.



CARTA N°SEAL AL/TRA-0538-2025

Arequipa, 13 de agosto del 2025

SEÑOR(A)
JAIR RICHERD SAIRE MOLINA
DIGNIDAD NACIONAL LL-1, SANTIAGO, CUSCO
CUSCO.-

Asunto: Acceso a Información por Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública

Referencia: Sus cartas con TD N° 313469-2025 y TD N° 315107-2025

Tengo el agrado de dirigirme a usted a fin de saludarlo cordialmente, y en atención a su solicitud de información de la referencia, conforme a lo informado por la Jefatura de la Unidad de Transmisión y Generación mediante Documento Interno OP/TG-0106-2025 y por la Gerencia de Comercialización mediante Documento Interno GG/CM-0711-2025, cumplimos con manifestar lo siguiente:

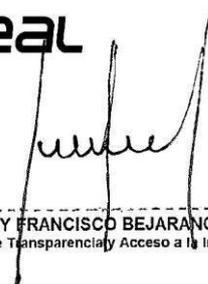
- En atención a lo solicitado se adjunta a la presente, la información de la producción propia de los grupos de generación de la Central Térmica de Ático correspondiente al periodo de enero del 2023 a diciembre del 2024, siendo está la información con la que cuenta la Oficina de Regulación, Tarifas y Contratos.
- Asimismo, adjuntamos a la presente la información referida a lo siguiente:
 - ✓ **Punto 3:** Información técnica, de la central térmica de Ático.
- Los anexos de la presente se pueden visualizar mediante el siguiente enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1hnFUqH7EzLEf4d6ys6JZHynw_EeGq1Rm?usp=sharing

Información con lo cual damos cumplimiento a lo dispuesto en el D.S. N° 021-2019-JUS, T.U.O. de la Ley N°27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Sin otro particular, quedamos de usted.

Atentamente,





FREDDY FRANCISCO BEJARANO FLORES
 Responsable de Transparencia y Acceso a la Información Pública



www.seal.com.pe
 Calle Consuelo N° 310 - Arequipa - Perú
 (054) 381377

