



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FASE I

**COMPARACIÓN TECNO ECONÓMICA DE UNA CENTRAL
TERMOSOLAR DE COLECTOR CILINDROS PARABÓLICOS Y UNA
CENTRAL TERMOSOLAR DE RECEPTOR CENTRAL EN NACAOME,
VALLE, HONDURAS**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

21751007 CARLOS JOSÉ MERLO PALMA

ASESOR: PHD. HÉCTOR FERNANDO VILLATORO FLORES

CAMPUS SAN PEDRO SULA;

DICIEMBRE, 2020

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres, Félix Antonio Merlo Arauz y María Inés Palma Zavala, a mi hermano Erick Javier Merlo Palma, mi abuela Rita Ofelia Arauz y a mi Tía Francis Iliana Palma Zavala que siempre me han dado su amor y apoyo incondicional en mi toda carrera universitaria y en la vida; sin ellos no hubiese logrado ser lo que soy en estos momentos.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer primero a Dios que me ha dado fortaleza e inteligencia para culminar mis estudios universitarios. A mi madre María Inés Palma Zavala y mi padre Félix Antonio Merlo Arauz, por su apoyo y amor incondicional para la realización de este proyecto y en toda mi vida que ellos han hecho lo imposible para poder brindarme una buena educación. A mi abuela Rita Ofelia Arauz, que siempre me motiva para ser siempre una mejor persona y siempre tener una mente positiva.

A mi asesor, PhD. Héctor Villatoro, por su valiosa dirección y constante apoyo para realizar esta investigación.

A mis catedráticos, Ing. Vielka Barahona, Ing. Franklin Reyes, Ing. Alicia Reyes, Ing. Claudia Paz, Ing. Ostin Solís, Ing. Ramón Bustamante, Ing. Hegel López, Ing. Pedro Vásquez e Ing. Jean Paul Hernández, quienes ayudaron a mi formación profesional a lo largo de mi carrera universitaria impartíendome sus conocimientos.

A mis amigos y compañeros, Max Dávila, Leonela Castellón, Adán Espinoza, Horacio Fernández, Luz Martel, Bryan Pérez, Christopher Rivera, Alejandro Hernández, Andrés Flores y Antonio Fuentes, por brindarme su ayuda y animarme a seguir adelante no solo en este proyecto sino también en toda mi carrera universitaria y a nunca darme por vencido.

A todos ustedes mi más sincero agradecimiento.

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad."

- Albert Einstein

RESUMEN

En los años 80 nació la tecnología solar por concentración (CSP por sus siglas en inglés). Esta tecnología surgió como alternativa a las plantas solares fotovoltaica. Esta tecnología presenta una opción comercial debido a sus altos rendimientos y eficiencia, al igual de su beneficio de producir energía eléctrica y no producir gases de efecto invernadero en su etapa de operación. En Honduras la energía termosolar no se utiliza en la generación de energía eléctrica, sino para el calentamiento de agua y sanitización de productos. La presente investigación se centra en la comparación tecno económica de dos centrales CSP, una de colector cilindros parabólicos y otra de receptor central con almacenamiento térmico de 10 horas en Nacaome, Valle, Honduras. La metodología utilizada es de enfoque cuantitativo, utilizando la recopilación de datos para probar una hipótesis. Se realizó un estudio desde un punto de vista técnico, económico y ambiental. Se logró determinar el costo nivelado de electricidad (LCOE), valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y periodo de recuperación para el caso de estudio. Los resultados mostraron que la tecnología de colector cilindros parabólicos presentó un LCOE menor que el de la tecnología de receptor central, así mismo el VAN, la TIR y periodo de recuperación confirmaron que la tecnología de colector cilindros parabólicos es más rentable. Se espera que la actual investigación sirva como base para investigaciones futuras acerca del tema.

Palabras Clave: *Energía termosolar, central CSP, almacenamiento térmico de energía, colector cilindro parabólico, receptor central.*

ABSTRACT

Concentrated solar technology (CSP) was born in the 1980s. This technology emerged as an alternative to solar photovoltaic plants. This technology presents a commercial option due to its high yields and efficiency, as well as its benefit of producing electricity and not producing greenhouse gases in its operating stage. In Honduras, solar thermal energy, mostly, is not used in the generation of electrical energy, but for the heating of water and the sanitization of products. The present research focuses on the techno-economic comparison of two CSP plants, one of parabolic trough collector and one of central receiver with 10-hour thermal storage in Nacaome, Valle, Honduras. The methodology used is quantitative, using data collection to test a hypothesis. A technical, economic and environmental study was conducted. We were able to determine the level cost of electricity (LCOE), net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and recovery period for the case study. The results showed that the parabolic trough collector technology presented a lower LCOE than that of the central receiver technology, as well as the NPV, IRR and recovery period confirmed that the parabolic trough collector technology is more cost-effective. The current research is expected to serve as the basis for future research on the subject.

Keywords: *Thermosolar energy, CSP central, thermal energy storage, parabolic trough collector, central receiver.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2.1.	PRECEDENTES DEL PROBLEMA	4
2.2.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	5
2.3.	JUSTIFICACIÓN	6
2.4.	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	8
2.5.	OBJETIVOS.....	8
2.5.1.	OBJETIVO GENERAL	8
2.5.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
III.	MARCO TEÓRICO.....	10
3.1.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	10
3.1.1.	MACROENTORNO	10
A)	España	11
B)	Sudáfrica.....	12
C)	China.....	13
3.1.2.	MICROENTORNO.....	15
A)	Estados Unidos.....	15
B)	Chile	17
3.2.	TEORÍAS DEL SUSTENTO	18
3.2.1.	Radiación Solar	18
3.2.2.	Constante Solar.....	19
3.2.3.	Irradiancia Solar	19
3.2.4.	Irradiación Solar.....	20
A)	Irradiación solar total.....	20

B)	Irradiación normal directa	20
C)	Irradiación horizontal difusa	21
D)	Irradiación horizontal global.....	21
3.2.5.	Radiación Electromagnética.....	21
3.2.6.	Espectro Electromagnético.....	21
3.2.7.	Energía Termosolar	22
3.2.8.	Energía Termosolar de Concentración (CSP).....	22
3.2.9.	Tecnologías de CSP	23
A)	Colector Lineal Fresnel.....	24
B)	Colector cilindro parabólico.....	25
C)	Torre Central.....	26
D)	Discos Parabólicos.....	27
3.2.10.	Componentes de una Central Termosolar de Receptor Central	28
A)	Heliostato.....	28
B)	Receptor Central.....	29
3.2.11.	Componentes de una Central de Colector Cilindros Parabólicos.....	30
A)	Reflector	31
B)	Tubo Absorbedor.....	31
C)	Sistema de Seguimiento.....	31
D)	Estructura Metálica.....	31
3.2.12.	Bloque de Potencia.....	32
A)	Generador de Vapor	32
B)	Turbina	32
C)	Condensador	33
D)	Generador Eléctrico.....	33

3.2.13.	Fluido de Trabajo	33
3.2.14.	Almacenamiento de Energía Térmica (Tes).....	34
3.2.15.	LCOE (Levelized Cost of Electricity).....	34
IV.	METODOLOGÍA	36
4.1.	ENFOQUE.....	36
4.2.	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	37
4.2.1.	Variable Dependiente.....	37
4.2.2.	Variables Independientes.....	37
4.3.	HIPÓTESIS.....	38
4.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	39
4.5.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	39
4.6.	METODOLOGÍA DE ESTUDIO	40
4.6.1.	Especificaciones Técnicas.....	41
4.6.2.	Búsqueda de Información.....	42
4.6.3.	Determinación de Variables de Investigación.....	42
4.6.4.	Simulaciones en SAM.....	42
4.6.5.	Análisis Tecno-Económico.....	43
4.6.6.	Análisis Ambiental	43
4.7.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	44
V.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	45
5.1.	GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	45
5.1.1.	COLECTOR CILINDROS PARABÓLICOS	45
5.1.2.	Receptor Central.....	47
5.2.	COSTOS DE INVERSIÓN INICIAL, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	50
5.3.	COSTO DE TERRENO Y COBERTURA DEL SUELO.....	51

5.4.	COSTO NIVELADO DE LA ELECTRICIDAD (LCOE)	52
5.4.1.	LCOE SIN FINANCIAMIENTO Y SIN CONSIDERAR EL VALOR DEL TERRENO	53
5.4.2.	LCOE SIN FINANCIAMIENTO Y CONSIDERANDO EL VALOR DEL TERRENO	55
5.4.3.	LCOE CON FINANCIAMIENTO Y SIN CONSIDERAR EL VALOR DEL TERRENO	57
5.4.4.	LCOE CON FINANCIAMIENTO Y CONSIDERANDO EL VALOR DEL TERRENO	59
5.5.	ANÁLISIS AMBIENTAL.....	61
5.6.	LIMITACIONES	61
VI.	CONCLUSIONES.....	62
VII.	RECOMENDACIONES.....	64
VIII.	APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN.....	65
IX.	EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL / TRABAJO FUTURO.....	66
	Bibliografía	67
	Anexos.....	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa de irradiación directa normal de Honduras.....	6
Ilustración 2. Mapa de irradiación directa normal de Latinoamérica y el Caribe.....	7
Ilustración 3. Mapa de centrales termosolares en el mundo.....	10
Ilustración 4. Evolución de la potencia termosolar a nivel mundial.....	11
Ilustración 5. Mapa de proyectos termosolares en España.....	12
Ilustración 6. Central Termosolar Atacama-1.....	18
Ilustración 7. Demostración de la Radiación Solar.....	19
Ilustración 8. Mapa de Irradiación Directa Normal del Mundo.....	20
Ilustración 9. Espectro Electromagnético de la Radiación Solar.....	22
Ilustración 10. Tecnologías de CSP.....	23
Ilustración 11. Clasificación de Centrales Termosolares.....	23
Ilustración 12. Tecnología Colector Lineal Fresnel.....	25
Ilustración 13. Tecnología Colectores Cilindros Parabólicos.....	25
Ilustración 14. Esquema de una Central Termosolar de Colector Cilindros Parabólicos.....	26
Ilustración 15. Tecnología de Torre Central.....	26
Ilustración 16. Esquema de una Central Termosolar de Torre Receptora.....	27
Ilustración 17. Tecnología de Discos Parabólicos.....	27
Ilustración 18. Heliostato.....	28
Ilustración 19. Receptor Central.....	29
Ilustración 20. Componentes que conforman los colectores cilindros parabólicos.....	32
Ilustración 21. Esquema Metodológico de la Investigación.....	36
Ilustración 22. Dimensiones de las Variables Independientes.....	38
Ilustración 23. Muestra de Investigación (Municipio de Nacaome).....	40
Ilustración 24. Metodología de Investigación.....	44

Ilustración 25. Esquema de Funcionamiento Colector Cilindro Parabólico.....	45
Ilustración 26. Generación de energía eléctrica colector cilindro parabólico durante toda su vida útil	47
Ilustración 27. Esquema de Funcionamiento Receptor Central	47
Ilustración 28. Generación de energía eléctrica receptor central durante toda su vida útil	49
Ilustración 29. Comparación de energía eléctrica generada de las dos tecnologías durante toda su vida útil.....	50
Ilustración 30. Comparación de costo específico capital de las dos tecnologías	51
Ilustración 31. LCOE sin financiamiento y sin considerar el terreno	53
Ilustración 32. Flujo de efectivo sin financiamiento y sin considerar el valor del terreno de receptor central	54
Ilustración 33. Flujo de efectivo sin financiamiento y sin considerar el valor del terreno de colector cilindros parabólicos	54
Ilustración 34. LCOE sin financiamiento y considerando el valor del terreno	55
Ilustración 35. Flujo de efectivo sin financiamiento considerando el valor del terreno de receptor central	56
Ilustración 36. Flujo de efectivo sin financiamiento considerando el valor del terreno de colector cilindro parabólicos.....	56
Ilustración 37. LCOE con financiamiento y sin considerar el valor del terreno.....	57
Ilustración 38. Flujo de efectivo con financiamiento y sin considerar el valor del terreno de receptor central.....	58
Ilustración 39. Flujo de efectivo con financiamiento y sin considerar el valor del terreno de colector cilindros parabólico.....	58
Ilustración 40. LCOE con financiamiento y considerando el valor del terreno	59
Ilustración 41. Flujo de efectivo con financiamiento y considerando el valor del terreno de receptor central.....	60

Ilustración 42. Flujo de efectivo con financiamiento y considerando el valor del terreno de colector cilindro parabólico.....	60
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Centrales Termosolares en Sudáfrica.....	13
Tabla 2. Centrales Termosolares en China.....	14
Tabla 3. Centrales Termosolares en Estados Unidos.....	16
Tabla 4. Cronograma de Actividades.....	44
Tabla 5. Propiedades del colector utilizado.....	46
Tabla 6. Propiedades del receptor utilizado.....	46
Tabla 7. Propiedades de los heliostatos.....	48
Tabla 8. Dimensiones de la torre y del receptor.....	49
Tabla 9. Parámetros de entrada de las dos tecnologías.....	52
Tabla 10. Parámetros de salida sin financiamiento y sin considerar el valor del terreno	53
Tabla 11. Parámetros de salida sin financiamiento y considerando el valor del terreno	55
Tabla 12. Parámetros de salida con financiamiento y sin considerar el valor del terreno	57
Tabla 13. Parámetro de salida con financiamiento y considerando el valor del terreno	59
Tabla 14. Valores de LCOE, VAN y TIR de las dos centrales termosolares.....	63

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Coeficiente de concentración	24
Ecuación 2. Múltiplo solar	24
Ecuación 3. Área del heliostato	28
Ecuación 4. Costo del receptor central.....	29
Ecuación 5. Cantidad de colectores por fila	30
Ecuación 6. Cantidad de lazos	30
Ecuación 7. Superficie total de los colectores.....	31
Ecuación 8. Flujo máximo de operación.	33
Ecuación 9. Capacidad térmica del almacenamiento de energía.....	34
Ecuación 10. Calculo simple del costo nivelado de la electricidad.....	35

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Centrales Termosolares en España.....	73
Anexo 2. Análisis financiero receptor central sin terreno.....	77
Anexo 3. Análisis financiero receptor central con terreno.....	81
Anexo 4. Análisis financiero colector cilindro parabólico sin terreno.....	84
Anexo 5. Análisis financiero colector cilindro parabólico con terreno.....	87
Anexo 6. Generación de energía eléctrica de la tecnología de colector cilindros parabólicos.....	90
Anexo 7. Generación de energía eléctrica de la tecnología de receptor central	91

LISTA DE SIGLAS

VAN Valor actual neto

TIR Tasa interna de retorno

LCOE Levelized Cost Of Energy (Costo nivelado de electricidad)

SAM System Advisor Model

CSP Concentrated Solar Power

TES Thermal Energy Storage

I. INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre descubrió la electricidad cada vez esta va siendo más importante, ya que en la vida cotidiana de todos se ocupa necesariamente la electricidad para poder vivir el día a día. Se descubrió que se puede generar energía eléctrica mediante el sol, entonces mediante el avance del tiempo el hombre ha encontrado maneras inteligentes de aprovechar el sol. La energía termosolar nace como alternativa a la energía solar fotovoltaica, en la energía termosolar aprovecha el sol para calentar un fluido y aprovechar el calor de dicho fluido ya sea para generación de energía eléctrica, calefacción o sanitización de productos.

La energía solar de concentración (CSP por sus siglas en inglés) consiste en aprovechar de mejor manera el sol, captando la irradiación solar directa normal y concentrándola a un receptor por donde pasa un fluido y así extraer el calor del fluido para que el vapor mueva una turbina. Con ese vapor se hace trabajar un generador eléctrico y se produce energía eléctrica. Existen diferentes tipos de tecnologías CSP, colector cilindro parabólico, receptor central, colector lineal Fresnel y discos parabólicos. En la presente investigación se evaluarán dos tecnologías una de colector cilindros parabólicos y una de receptor central. Para evaluar que tan factibles son las dos tecnologías se requiere varias consideraciones técnicas y económicas. Las tecnologías ya son probadas en otras partes del mundo en generación de energía eléctrica pero sus costos son altos así en su costo de inversión inicial y costo de operación y mantenimiento.

Algunos trabajos similares a este son los siguientes. Martel, (2020) realizó un análisis tecno-económico de una central termosolar de receptor central con almacenamiento térmico de energía en el sur de Honduras. Después de realizar la investigación determinó que el lugar más idóneo para implementar una central termosolar es en departamento de Valle, Honduras Fuentes, (2012) realizó un estudio de las diferentes tipologías de receptores volumétricos en centrales termosolares haciendo énfasis de las diferencias de cada una de las tecnologías y sus pros y contras entre ellas. Carrera, (2019) realizó un 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. Gomez, (2019) realizó un análisis de la tecnología solar termica con almacenamiento y compartido con otras tecnologías. Logro comparar la energia termosolar con la enegia termica mediante sus LCOE. Serrano, (2015) realizó un análisis termoeconómico de una central termosolar de captadores cilindro-parabólicos con sistema de almacenamiento de energía térmica. Calculo el LCOE, VAN y TIR para concer su rentabilidad. Caminero Ocaña, (2014) realizó un análisis económico de viabilidad de una planta termo-solar. Realizo una investigacion acerca de los requisitos y documentacion necesarios para contriur una central termosolar. Al igual manera realizo una analisis financiero para calculo el VAN y TIR. Rincon, (2019) realizó un análisis técnico y económico de una planta termosolar de torre central. Realizó una investigación para conocer la tecnologías necesaria para la central termosolar del igual manera realiza el analisis economico para conocer su rentabilidad.

En esta investigación se comparará técnica y económicamente dos centrales termosolares, una de colector cilindros parabólicos y de receptor central en Nacaome, Valle. La comparación se realizará por medio del LCOE de la tecnología de colector cilindro parabólico y la tecnología de receptor central, ya que, mediante este parámetro se logrará conocer qué tipo de central termosolar es más conveniente implementar en Nacaome, Valle. Esta investigación se desarrollará con el principal propósito de facilitar la toma de decisiones sobre qué tipo de central termosolar es más factibles de implementar comparando los datos de LCOE obtenidos, ya que en la actualidad ni en Honduras ni en Centroamérica se utilizan este tipo de centrales para la generación de energía eléctrica.

Este trabajo consta de nueve secciones incluyendo la presente *Introducción*. *Planteamiento del problema*, sección en que se define y se presenta el problema, incluye el objetivo general y los objetivos específicos y las preguntas de investigación. *El Marco Teórico*, en esta sección muestra toda la información recolectada y las teorías de sustento de la investigación. *La Metodología*, en esta sección se mostrará el enfoque investigativo, variables de investigación, técnicas e instrumentos aplicados en la investigación. *Resultados y Análisis*, en esta sección se presentarán los resultados de investigación y se interpretaran los resultados que se obtuvieron. *Conclusiones*, en esta sección se relacionará directamente los objetivos establecidos y las preguntas de investigación.

Recomendaciones, en esta sección se presentarán sugerencias en base a las conclusiones. *Aplicabilidad/ Implementación*, en esta sección se determinará la aplicabilidad de los dos tipos de centrales termosolares para el país. *Evolución de trabajo actual/ trabajo futuro*, esta sección es la última de la presente investigación y se presentara futuras etapas para la investigación.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Honduras es uno de los 148 países en el ámbito mundial con mejor potencial para la generación de energía solar; sin embargo, la energía solar térmica apenas despierta de varias décadas de estancamiento y en la actualidad su participación no es relevante en la matriz energética nacional (SOPELIA, 2017).

Lo que sucede en Honduras y en casi todos los países latinoamericanos no hay un gran desarrollo de la energía termosolar y no hay ningún desarrollo concorde a la gran potencia que tiene este tipo de energía.

2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Las primeras centrales termosolares se construyeron en Europa y Japón en los años 80. España es una potencia mundial en energía termosolar. Las condiciones del país son muy favorables para instalar plantas termosolares, ya que dispone de un abundante sol y de amplias zonas desérticas. Las primeras centrales experimentales, conocidas como SSPS/CRS y CESA 1, se construyeron en Tabernas (Almería) en 1981 y 1983 (Martinez, 2014).

En Estados Unidos en 1982 entraron en operación las Solar Energy Generating Systems (SEGS) de la mano de la hoy extinta empresa israelí Luz (parte de sus activos fueron adquiridos por Solel, hoy parte de Siemens). La tecnología que emplearon fue la de colector cilindro parabólico (ENERGIAS RENOVABLES, 2012).

Tras las SEGS y los proyectos Solar One y Two, la bajada de los precios del petróleo hasta niveles anteriores a la crisis del petróleo de 1973 y la crisis de 1979 provocó que se abandonara la instalación de plantas termosolares en Estados Unidos. En 2007, volvió a renacer la industria, a partir de la instalación de la planta Nevada Solar One, promovida por la española Acciona Solar, de 64 MW, cerca de Boulder (Nevada) (ENERGIAS RENOVABLES, 2012).

A finales de 2011, de los 509 MW que, según CSP Today, había operativos en Estados Unidos, 354 pertenecen a las SEGS I-IX, 64 MW a la planta Nevada Solar One y 75 MW, a una hibridación en la planta de ciclo combinado Martin Next Generation Solar Energy Center, propiedad de la utility Florida Power and Light, del grupo NextEra Energy.

El resto de capacidad la proporcionan otras plantas menores, como son Sierra Sun Tower de eSolar (americana) de 5 MW o Kimberlina Solar, de 5 MW, del grupo Ausra, actualmente Areva Solar, de capital francés (ENERGIAS RENOVABLES, 2012).

En Latinoamérica la única planta de termosolar se encuentra en Chile que actualmente se encuentra en construcción. En Honduras actualmente no contamos con ninguna central termosolar para generación de energía eléctrica y la energía termosolar sirve para otros usos en sector residencial e industrial.

2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema viene en que Honduras no está aprovechando al máximo todo lo que puede ofrecer la energía termosolar, ya que en Honduras prefieren la energía solar fotovoltaica y también con la limitante que la energía termosolar es una energía nueva para Honduras en cuestión de generación de energía eléctrica. Actualmente la energía termosolar solo es utilizada en el país en el sector residencial e industrial para calentar y para limpieza y/o sanitización de alimentos. También no se han realizado ningún tipo de estudios para saber qué tipo de central termosolar será más factible para el país, si una central termosolar de Cilindros Parabólicos o una central termosolar de receptor central que son tecnologías no muy utilizadas en Latinoamérica.

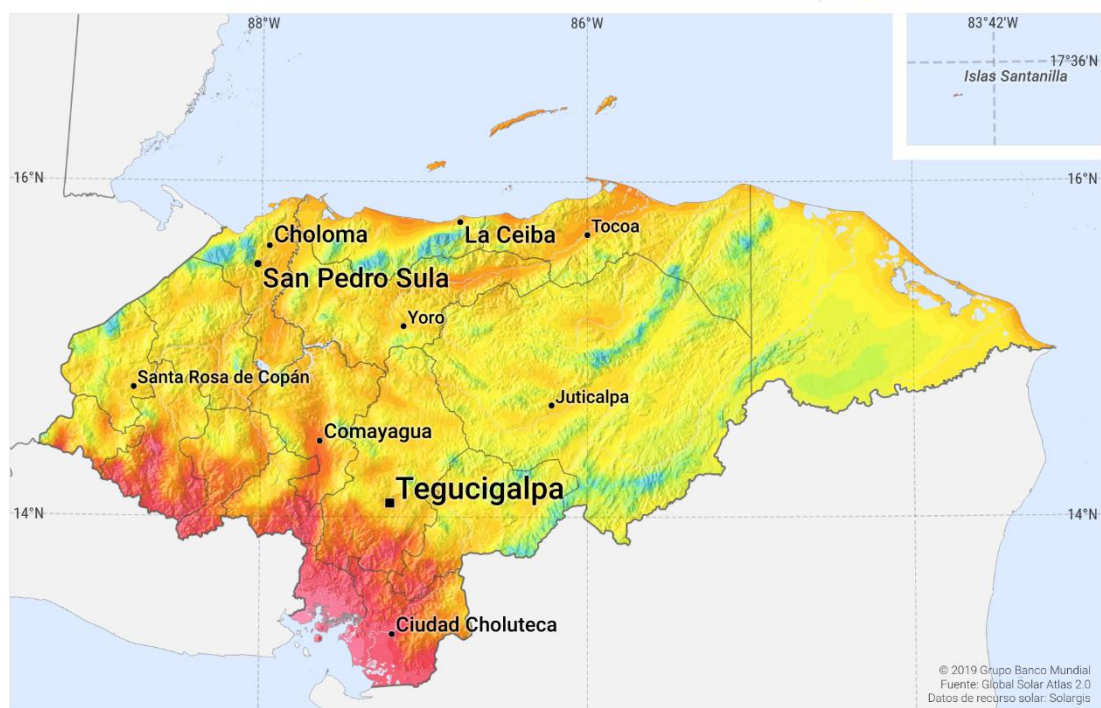
Es por eso la presente investigación que tiene como finalidad identificar qué tipo de central termosolar si de cilindros parabólicos o de receptor central sería más factible en generación de energía eléctrica para Nacaome, Valle.

2.3. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se desarrolla en el municipio de Nacaome, ya que se encuentra en el departamento de Valle y es uno de los departamentos de la zona sur de Honduras con mayor irradiación solar. "En Honduras, Choluteca y Valle son las zonas de mayor potencial para la generación a partir de la energía solar, ya que todo el año se registra un promedio diario anual máximo de 8.4 horas sol." (SOPELIA, 2017)

MAPA DE RECURSO SOLAR

IRRADIACIÓN DIRECTA NORMAL HONDURAS



Este mapa está publicado por el Grupo Banco Mundial, financiado por ESMAP, y preparado por Solargis. Para más información y términos de uso, por favor visite <http://globalsolaratlas.info>.

Ilustración 1. Mapa de irradiación directa normal de Honduras

Fuente: (SOLARGIS, 2020)

"La energía solar térmica presenta un potencial competitivo único en los países del "Sunbelt", caracterizados por unos elevados niveles de radiación solar y, a menudo, altos precios en las tarifas energéticas." (SOPELIA, 2017)

DIRECT NORMAL IRRADIATION LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN

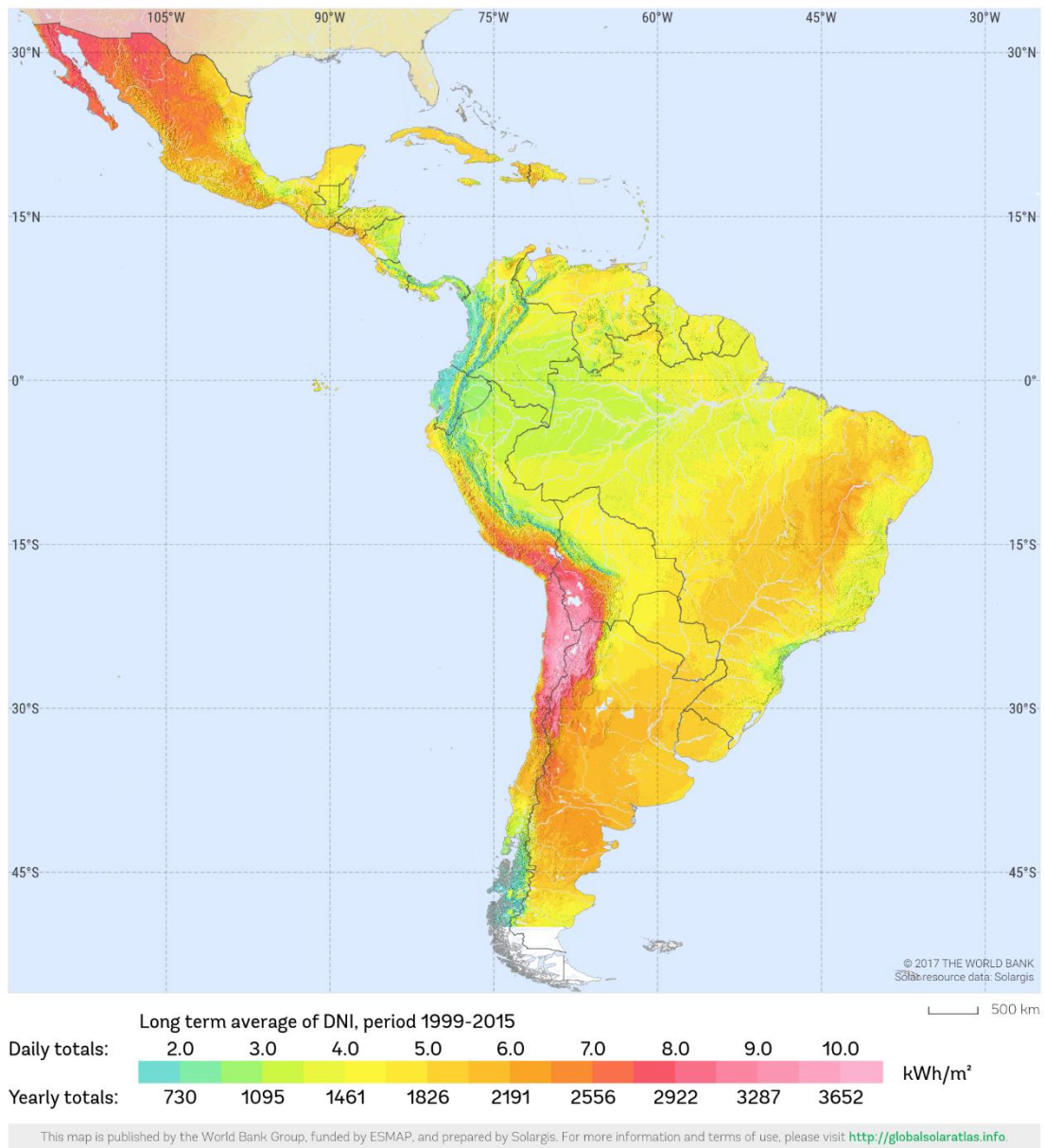


Ilustración 2. Mapa de irradiación directa normal de Latinoamérica y el Caribe

Fuente: (SOLARGIS, 2020)

Los dos tipos de tecnologías que se evaluarán la de cilindros parabólicos y de torre receptora para conocer su factibilidad en el país, son tecnologías que no se han implementado en Honduras para generación de energía eléctrica. Estos tipos de tecnologías ya implementadas en otros países como España, Estados Unidos y China, y según Roca (2016), han demostrado tener un gran beneficio en reducción de la emisión de gases causantes del calentamiento global y un ahorro financiero para la generación.

Se espera que esta investigación tenga una entrada positiva a estas tecnologías a Honduras y se pueda diversificar la matriz energética del país. Los dos tipos de centrales termosolares son tecnologías eficientes e innovadoras para la generación de electricidad y sobre todo tendrá un impacto positivo en el medio ambiente del país.

2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuál es la cantidad de terreno necesario para una central termosolar de cilindro parabólico y una central termosolar de receptor central?
- ¿Cuánto será la energía generada de una central termosolar de cilindros parabólicos y una central termosolar de receptor central?
- ¿Cuál será la inversión inicial para una central termosolar de cilindros parabólicos y de una central termosolar de receptor central?
- ¿Cuánto será el costo de operación y mantenimiento de una central termosolar de cilindros parabólicos y una central termosolar de receptor central?
- ¿Cuánto será el valor del LCOE para una central termosolar de cilindros parabólicos y una central termosolar de receptor central?
- ¿Cuál es la tasa interna de retorno y valor actual neto para una central termosolar de cilindros parabólicos y para una central termosolar de receptor central?
- ¿Cuáles son los impactos ambientales que puede provocar una central termosolar de cilindro parabólico y una central termosolar de receptor central?

2.5. OBJETIVOS

2.5.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una comparación técnica y económica de una central termosolar de cilindros parabólicos y una central termosolar de receptor central (ambas con una potencia instalada de 40MW y un almacenamiento térmico) para analizar cuál sería más factible para la generación de energía eléctrica en Nacaome, Valle.

2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la cantidad de terreno necesario para una central termosolar de receptor central y para una central termosolar de cilindro parabólico.
- Determinar la energía eléctrica generada de la central termosolar de receptor central y de la central termosolar de cilindros parabólicos ambas con sistema de almacenamiento térmico y una capacidad de 40 MW mediante el software System Advisor Model (SAM).
- Investigar cuál será la inversión inicial y el costo de operación y mantenimiento para los dos sistemas.
- Realizar un análisis financiero de los dos sistemas para conocer el VAN, TIR, LCOE.
- Investigar acerca de los impactos ambientales que pueden provocar los dos tipos de sistemas.

III. MARCO TEÓRICO

En esta sección se realizará una recopilación de datos y se realizará un análisis de la información recolectada de estudios en otros países a nivel de macro y micro entorno de las tecnologías de cilindro parabólico y de torre receptora. Además, se presenta la teoría de sustento y la conceptualización de las variables de investigación de la investigación.

3.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1.1. MACROENTORNO

La energía termosolar en el mundo creció un 11% en el año de 2019 a 6.2 GW, con una nueva potencia 600MW. Esa cantidad fue inferior a los 700 MW generados en el año de 2018 y muy por debajo del aumento anual promedio (24%) de la última década. La energía termosolar se siguió expandiendo a nuevos mercados en el mundo. Países como Israel, Sudáfrica, Kuwait y Francia han puesto en funcionamiento varias centrales termosolares durante todo 2019. De las regiones mencionadas, Israel fue el que lideró el mercado debido a nuevas incorporaciones de centrales termosolares (reve, 2020).

La nueva potencia termosolar que entro en funcionamiento por cuarto año consecutivo fue fuera de España y Estados Unidos, ambos países son líderes en más capacidad acumulada desde que la tecnología fue comercializado en los años 80 (reve, 2020).

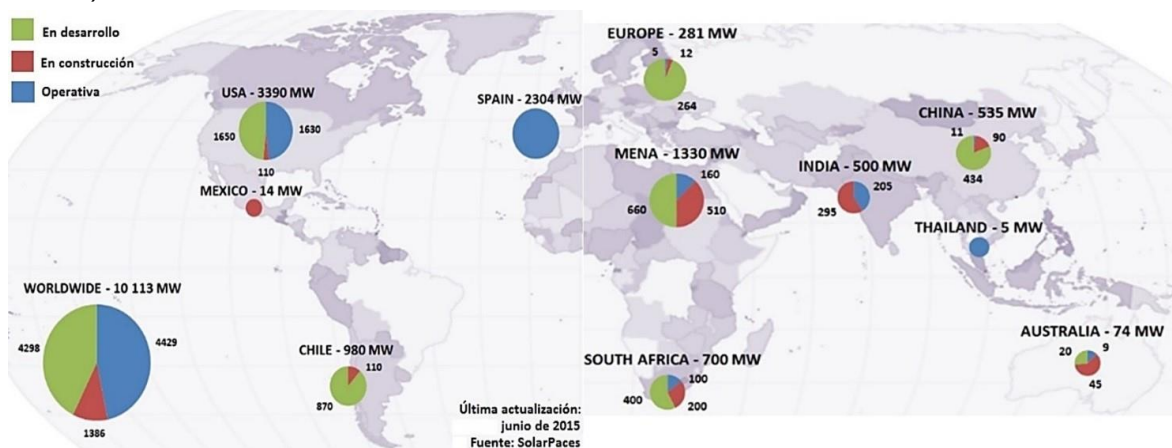


Ilustración 3. Mapa de centrales termosolares en el mundo.

Fuente: (ENERGIAS RENOVABLES, 2015)

En el año de 2019 fue la primera vez que se completó tanta capacidad instalada de torre central al igual que canal parabólico. Las dos tecnologías de torre central y canal parabólico representaban un 45% de las adiciones, y el 10% restante lo representa las centrales lineales de Fresnel. La mayoría de la capacidad instalada del mundo son centrales termosolares de cilindros parabólicos. Las centrales termosolares que al final de año estaban en construcción en el mundo representaban 0.9 GW de tecnología de canal parabólico, 0.3 GW de tecnología de torre central y 14 MW de tecnología de Fresnel. Solo son dos centrales termosolares híbridas de CSP-gas natural que no tendrían almacenamiento térmico a diferencia de las demás centrales termosolares (reve, 2020).

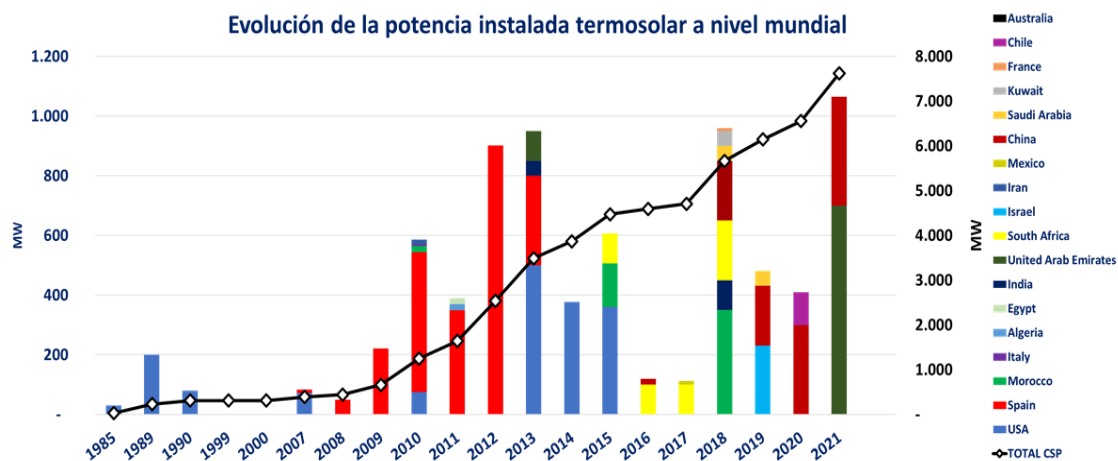


Ilustración 4. Evolución de la potencia termosolar a nivel mundial

Fuente: (PROTERMOSOLAR, 2020)

A) España

En España la energía termosolar es un tipo de energía que ha revolucionado la matriz energética del país, y vale destacar que España según ENERGIAS RENOVABLES (2020) es el país que cuenta con más centrales termosolares.

La energía termosolar en España volvió a superar los 5 TWh de generación eléctrica en 2019, al sumar 5.166 GWh, lo que representa un incremento del 16.8 % sobre el año de 2018 y un 3.8% respecto a la media de los últimos 5 años. Su contribución al sistema eléctrico fue de 2.1% de media, con grandes aportaciones puntuales del 10%. España cuenta actualmente con más centrales termosolares en operación, con un total de 50. (ENERGIAS RENOVABLES, 2020)

Entre las actuales instalaciones termosolares que tienen más de una década de operación destaca Protermosolar, que siguen operando sin signos de degradación e incorporando experiencias de mejor funcionamiento que las hacen más eficientes (ENERGIAS RENOVABLES, 2020).

En el Anexo 1 se presenta una tabla de las centrales termosolares de España con información de cada una de ella como ubicación, potencia, año que comenzó a operar, propietario y su almacenamiento térmico.



Ilustración 5. Mapa de proyectos termosolares en España

Fuentes: (PROTERMOSOLAR, 2020)

B) Sudáfrica

Sudáfrica actualmente en operación tiene una potencia instalada de 500MW, este país tomó gran ventaja en las nuevas centrales instaladas a nivel mundial. En Sudáfrica la tecnología termosolar sigue activa, se está desarrollando actualmente una central termosolar de 100MW, y para 2022 está previsto que se pondrá en operación (PROTERMOSOLAR, 2020).

La tabla 1 presenta las centras térmicas de Sudáfrica con su información, su estado actual, año de inicio de operación, potencia instalada, tecnología y almacenamiento térmico.

Tabla 1. Centrales Termosolares en Sudáfrica

País	Central	Estado	Año de inicio de operación	Potencia Instalada (MW)	Tecnología	Almacenamiento Térmico [Horas]
Sudáfrica	KaXu Solar One	Operacional	2015	100	CCP	2.5
Sudáfrica	Bokpoort	Operacional	2016	50	CCP	9.3
Sudáfrica	Khi Solar One	Operacional	2016	50	Torre Central	2.0
Sudáfrica	Xina Solar One	Operacional	2017	100	CCP	5.5
Sudáfrica	Kathu Solar Park	Operacional	2018	100	CCP	4.5
Sudáfrica	Ilanga I	Operacional	2018	100	CCP	5.0
Sudáfrica	Redstone Solar Thermal Power Plant	Planificación	2022	100	Torre Central	12.0

Fuente: (PROTERMOSOLAR, 2020)

C) China

El país asiático que se convirtió en uno de los pioneros en instalación de tecnología termosolar en los últimos años es China y actualmente anunció el desarrollo 20 proyectos que contarán 1.35GW de potencia combinada para 2021, de esas centrales termosolares son 8 que se encuentran actualmente en operación con una potencia de más de 500MW, todas ellas con capacidad de almacenamiento térmico. Estos 20 proyectos son los primeros de un plan realmente ambicioso por parte de China, y se espera que en los próximos años aumente su capacidad instalada (PROTERMOSOLAR, 2020).

La tabla 2 presenta las centrales térmicas de China con su información su estado actual, año de inicio de operación, potencia instalada, tecnología y almacenamiento térmico.

Tabla 2. Centrales Termosolares en China

País	Central	Estado	Año de inicio de operación	Potencia Instalada (MW)	Tecnología	Almacenamiento Térmico
China	SunCan Dunhuang 10 MW Phase I	Operacional	2016	10	Torre Central	15.0
China	Supcon	Operacional	2016	10	Torre Central	NO
China	CGN Delingha	Operacional	2018	50	CCP	9.0
China	Supcon Delingha 50MW Molten Salt Tower CSP	Operacional	2018	50	Torre Central	6.0
China	Shouhang Dunhuang 100 MW Molten Salt tower CSP Project	Operacional	2018	100	Torre Central	11.0
China	Qinghai Gonghe 50 MW Molten Salt Tower CSP Plant	Operacional	2019	50	Torre Central	6.0
China	Dacheng Dunhuang 50MW Molten Salt Fresnel CSP Plant	Operacional	2019	50	Lineal Fresnel	13.0
China	Urat Middle Banner 100MW Thermal Oil Parabolic Trough CSP project	Operacional	2020	100	CCP	4.0
China	Yumen Xinneng 50MW Molten Salt Tower CSP project Beam Down	Construcción	2020	50	Torre Central	6.0

China	Jinfan Akesai 50MW Molten Salt CSP parabolic Trough demonstration plant	Construcción	2020	50	CPP	15.0
China	Golden Tower 100MW Molten Salt Tower CSP project	Construcción	2021	100	Torre Central	8.0
China	64MW Molten Salt Parabolic Trough CSP project	Construcción	2021	64	CCP	16.0
China	Yumen Town East 50MW CSP project Changzhou royal tech csp equipment	Construcción	2021	50	CCP	7.0
China	Gansu Yumen East town 50 MW trough power plant	Construcción	2021	50	CCP	7.0
China	Guliang 100MW Thermal Oil Parabolic Trough CSP project – Zhonghaiyang	Planificación	2021	100	CCP	7.0
China	Shangyi 50MW DSG Tower CSP project	Construcción	2020	50	Torre Central	4.0

Fuente: (PROTERMOSOLAR, 2020)

3.1.2. MICROENTORNO

A) Estados Unidos

En Estados Unidos se cuenta actualmente con 16 centrales termosolares en operación, 1,694MW de potencia instalada son lo que suman juntas, combinando las dos

tecnologías Cilindro Parabólica y de Receptor Central. Las centrales termosolares SEGS que son las más conocidas y que fueron las primeras en Estados Unidos, desde los años 80 llevan operando. Sunshot es un programa en Estado Unidos que pretende promover el desarrollo tecnológico para reducir los precios de futuras centrales termosolares. A corto plazo no se pretende que haya nuevas centrales de generación eléctrica, pero si a medio/largo plazo, esta sería elegida como una opción por los policy makers para combatir la conocida "curva de pato" que está experimentando Estados Unidos en ciertos estados (PROTERMOSOLAR, 2020).

La tabla 3 presenta las centras térmicas de Estados Unidos con su información su estado actual, año de inicio de operación, potencia instalada, tecnología y almacenamiento térmico.

Tabla 3. Centrales Termosolares en Estados Unidos

País	Central	Estado	Año de inicio de operación	Potencia Instalada (MW)	Tecnología	Almacenamiento Térmico
Estados Unidos	Nevada Solar One	Operacional	2007	72	CCP	0.5
Estados Unidos	Martin	Operacional	2010	75	CCP	NO
Estados Unidos	Solana Generating Station	Operacional	2013	250	CCP	6.0
Estados Unidos	Génesis Solar Energy Project	Operacional	2013	250	CCP	NO
Estados Unidos	Ivanpah 2	Operacional	2014	125.67	Torre Central	NO

Estados Unidos	Ivanpah 1	Operacional	2014	125.67	Torre Central	NO
Estados Unidos	Ivanpah 3	Operacional	2014	125.67	Torre Central	NO
Estados Unidos	Mojave Solar Project	Operacional	2015	250	CCP	NO
Estados Unidos	Crescent Dunes Solar Energy - Tonopah	Operacional	2015	110	Torre Central	10.0

Fuente: (PROTERMOSOLAR, 2020)

B) Chile

Chile es el primer país latinoamericano en implementar la energía termosolar para la generación de energía eléctrica. Se espera que Atacama-1 que es conocida como Cerro Dominador está ubicado en la comuna de María Elena en la Provincia de Tocopilla, Chile. El Cerro Dominador actualmente se encuentra en operación y se espera que pueda diversificar la matriz energética de Chile.

“Chile al ser un gran exponente minero exporta millones de toneladas de sales a los países europeos para la utilización de esta como medio de almacenamiento térmico de energía.” (Martel, 2020)

Atacama 1 actualmente se construye en el desierto de Atacama ya que este lugar es considerado con mejor radiación del mundo con 3,200kWh/año. Atacama 1 es la central termosolar más grande de Latinoamérica y actualmente es la única que existe. Está conformada por una planta de generación fotovoltaica y una planta termosolar. Esta central termosolar tiene una capacidad de 110MW y cuando este en operación se reducirá ya emisión anual de 864,000 toneladas de CO₂ que será de bastante ayuda para Chile (Arquitectura en acero, 2020).

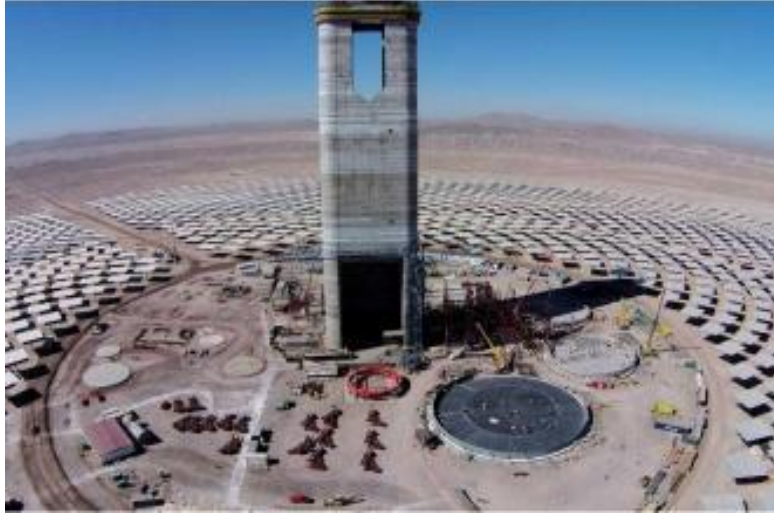


Ilustración 6. Central Termosolar Atacama-1

Fuente: (Arquitectura en acero, 2020)

3.2. TEORÍAS DEL SUSTENTO

3.2.1. RADIACIÓN SOLAR

El sol emite una energía llamada radiación solar y esta energía se extiende en el espacio mediante ondas electromagnéticas a través de todas las direcciones. Esta energía se produce por causa de las reacciones en el núcleo del sol por causa del hidrogeno, la cual es emitida a la superficie solar (IDEAM, 2014).

“El sol produce una cantidad de energía constante que, en el momento de incidir sobre la superficie terrestre pierde parte de su potencia debido a distintos fenómenos ambientales.” (Alonso, 2019)

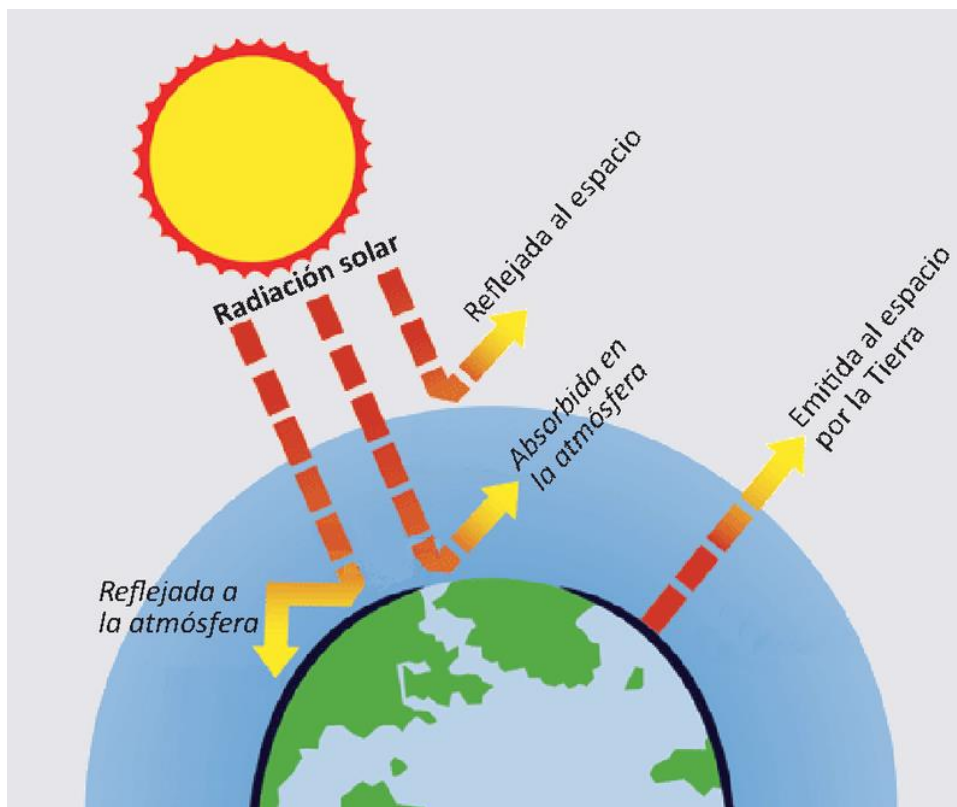


Ilustración 7. Demostración de la Radiación Solar

Fuente: (HelioEsfera, 2020)

3.2.2. CONSTANTE SOLAR

La constante solar es una densidad de flujo y esta mide la irradiancia solar. En una superficie perpendicular a los rayos se puede medir la constante solar, una unidad astronómica desde el sol y la unidad aproximadamente es la distancia desde el Sol hasta la Tierra (HISOUR, 2018).

La constante solar incluye todos los tipos de radiación solar, no solo la luz visible. Se mide por satélite como 1.361 kilovatios por metro cuadrado (kW / m^2) al mínimo solar y aproximadamente 0.1% mayor (aproximadamente $1.362 \text{ kW} / \text{m}^2$) al máximo solar. (HISOUR, 2018)

3.2.3. IRRADIANCIA SOLAR

“Es la magnitud que describe la radiación o intensidad de iluminación solar que llega hasta nosotros medida como una potencia instantánea por unidad de superficie. Sus unidades en el SI (Sistema Internacional) son el W/m^2 ” (Alonso, 2019).

3.2.4. IRRADIACIÓN SOLAR

La irradiación solar es la que mide la energía por unidad de área de radiación solar por incidente en cualquier superficie que tiene que estar colocada en el lugar y el rango de tiempo especificados. La magnitud de la radiación solar que recibe la tierra es la irradiancia. La irradiancia se expresa en unidades de potencia por superficie (Planas, 2019).

A) Irradiación solar total

La irradiación solar total es el tipo de irradiación solar que es una medida de la potencia solar de las longitudes de onda por unidad del área incidente de la atmosfera. En cuanto a la constante solar se sabe que es la medida convencional de la irradiación solar total promedio a una distancia de una unidad astronómica (Planas, 2019).

B) Irradiación normal directa

La irradiación normal directa es el tipo de irradiación solar que se mide en la superficie de la tierra en una ubicación dada por un cierto elemento que es necesario que tenga una superficie perpendicular al sol. Este excluye la radiación solar difusa que puede ser la radiación dispersada o reflejada por los componentes atmosféricos (Planas, 2019).

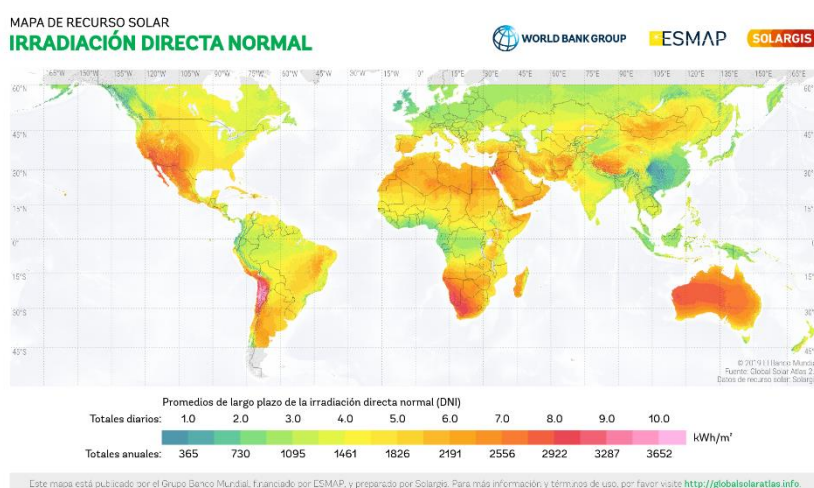


Ilustración 8. Mapa de Irradiación Directa Normal del Mundo

Fuente: (SOLARGIS, 2020)

C) Irradiación horizontal difusa

La irradiación horizontal difusa es la radiación de la superficie del planeta Tierra a partir de la luz dispersada por la atmósfera de la Tierra. En una superficie horizontal se mide la irradiación horizontal difusa que con radiación proviene de todos los puntos del cielo, se debe excluir la radiación solar proveniente del disco solar. Es un hecho que no habría irradiación horizontal difusa en ausencia de atmósfera (Planas, 2019).

D) Irradiación horizontal global

El tipo de irradiación solar que es conocida como la irradiancia total del sol sobre una superficie horizontal del planeta Tierra es la irradiación horizontal global. La irradiación horizontal global es la suma de la irradiancia directa y la irradiancia horizontal difusa, cabe destacar que en la irradiancia directa se tiene que tomar en cuenta el ángulo cenital del sol (Planas, 2019).

3.2.5. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

La radiación electromagnética se puede encontrar en los campos electromagnéticos. La radiación electromagnética puede surgir de dos formas de manera natural o producida por el hombre. Esta radiación es formada por la combinación tanto de campos eléctricos, así como campos magnéticos (Planas, 2019).

3.2.6. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético es conocido como la distribución energética de ondas electromagnéticas. Como se observa en la ilustración 9, el espectro electromagnético se extiende desde longitudes de onda corta así como en como son los rayos gamma y los rayos X. (Casanova, 2012)

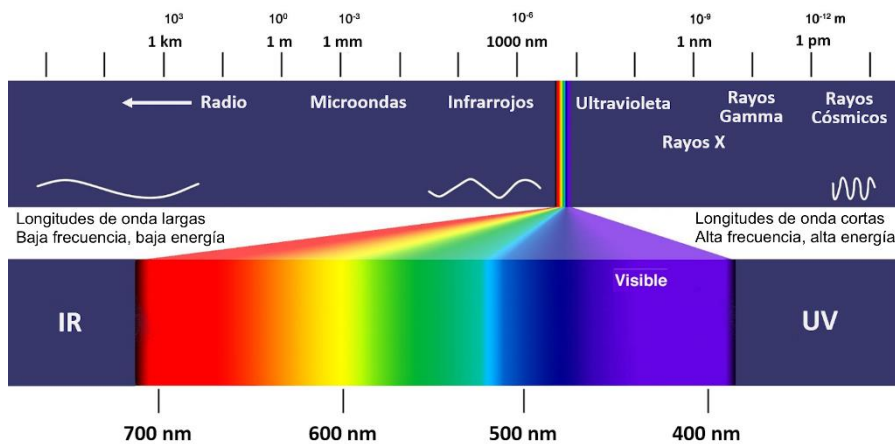


Ilustración 9. Espectro Electromagnético de la Radiación Solar

Fuente: (Chomali, 2017)

3.2.7. ENERGÍA TERMOSOLAR

La energía termosolar es el tipo de energía que aprovecha la energía térmica que produce el calor de los rayos del sol para la producción de energía eléctrica, para calefacción en el ámbito doméstico y para la climatización e incluso la refrigeración en el rubro de la industria. La energía termosolar o solar térmica tiene bastantes beneficios en la generación de energía eléctrica. Proviene de una fuente ilimitada e inagotable con el sol, es más limpia y segura y podemos recalcar que otra ventaja que es gestionable ya que se puede almacenar (Planas, 2019).

3.2.8. ENERGÍA TERMOSOLAR DE CONCENTRACIÓN (CSP)

La energía Termosolar de concentración (CSP) es el tipo de energía termosolar que se conoce por utilizar espejos o lentes para poder concentrar grandes cantidades de luz en una superficie. Este tipo de tecnología es bastante utilizada en la generación de energía eléctrica. Este tipo de planta puede funcionar más allá de las horas del sol ya que cuenta con almacenamiento térmico y permite que la planta o central termosolar pueda seguir trabajando en horas que ya no hay luz o en días nublados que no hay rayos del sol (Carrera, 2019). Parabólico

3.2.9. TECNOLOGÍAS DE CSP

En los tipos de tecnología de CSP se puede encontrar el colector lineal Fresnel, colector cilindro parabólico, torre central y discos parabólicos.



Ilustración 10. Tecnologías de CSP

Fuente: (PROENERGIZA, 2020)

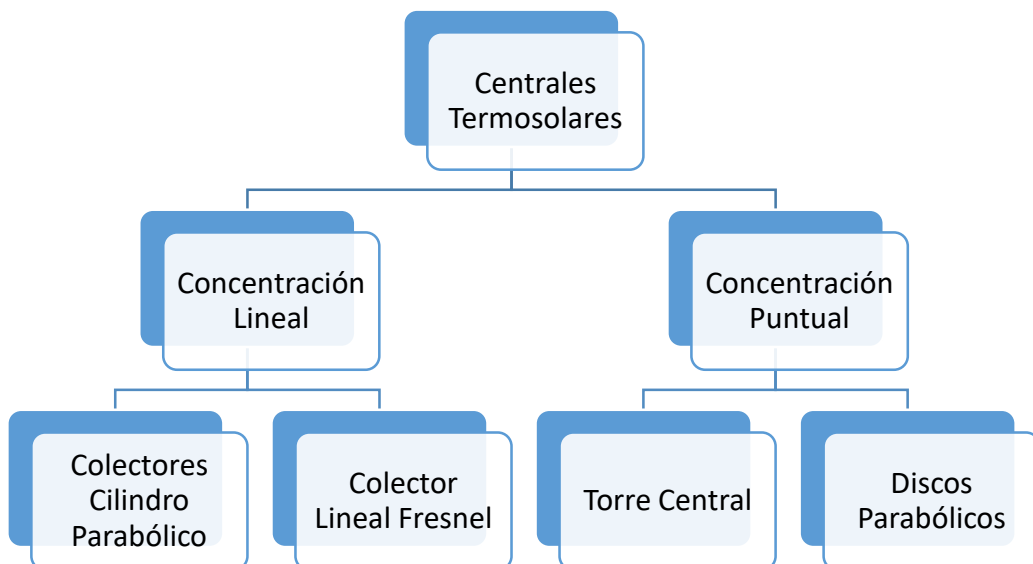


Ilustración 11. Clasificación de Centrales Termosolares

Fuente: Elaboración Propia

En las tecnologías de concentración algo bien importante es el coeficiente de concentración este se puede calcular con la ecuación 1.

$$C = \frac{A_{abs}}{A_c}$$

Ecuación 1. Coeficiente de concentración

Fuente: (Gomez, 2019)

Donde:

- C= coeficiente de concentración [-]
- A_{abs}= Superficie del Receptor [m²]
- A_c= superficie del Reflector [m²]

Otro parámetro importante en las centrales térmicas de concentración es el cálculo del múltiplo solar. El múltiplo solar es la relación entre la energía térmica que tiene el receptor solar y la energía térmica necesaria del ciclo para el fluido de trabajo. El múltiplo solar se calcula con la ecuación 2.

$$MS = \frac{E_{ciclo}}{E_{receptor}}$$

Ecuación 2. Múltiplo solar

Fuente: (Gomez, 2019)

Donde:

- MS= múltiplo solar [-]
- E_{ciclo}= Superficie del Receptor [m²]
- E_{receptor}= superficie del Reflector [m²]

A) Colector Lineal Fresnel

El colector lineal Fresnel utiliza unas largas hileras de espejos planos o poco curvados puestas en diferentes ángulos, estas están equipadas con un sistema de seguimiento de un solo eje y la luz solar se tiene que concentrar en un lugar fijo. Por este receptor pasa un fluido de transferencia de calor que recolecta y transporta energía térmica a unidades de producción y almacenamiento de energía, está ubicada sobre el campo de espejos. En la ilustración 11 podemos observar un ejemplo de la tecnología de colector lineal fresnel (Carrera, 2019).



Ilustración 12. Tecnología Colector Lineal Fresnel.

Fuente: (reve, 2012)

B) Colector cilindro parabólico

La tecnología de colector cilindro parabólico se compone por un canal de espejos que está elaborado con material reflectante que puede concentra la radiación solar en un tubo por donde fluye el fluido de trabajo utilizado en la central termosolar como podemos observar en la ilustración 12. (Carrera, 2019).



Ilustración 13. Tecnología Colectores Cilindros Parabólicos

Fuente: (Pons, 2020)

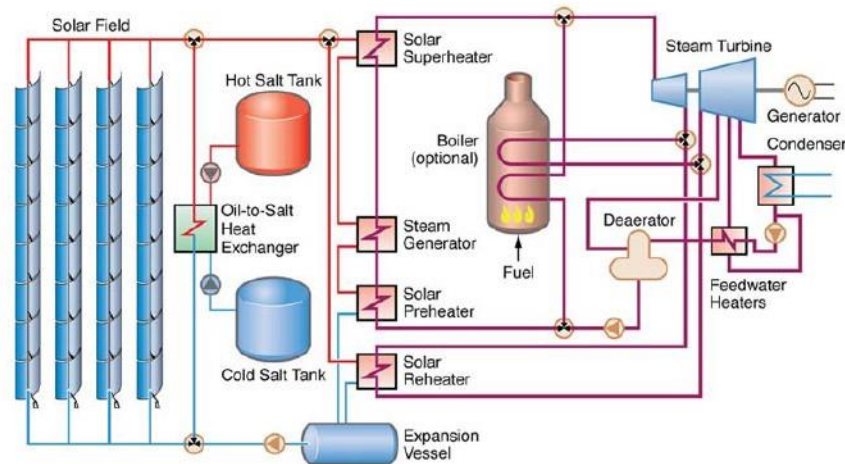


Ilustración 14. Esquema de una Central Termosolar de Colector Cilindros Parabólicos

Fuente: (Villamizar, Olmedo, & Rudnick, 2020)

C) Torre Central

Las centrales termosolares de tecnología de torre central se componen de una gran cantidad heliostatos o varios espejos, estos pueden ser planos o un poco cóncavos y tienen un seguimiento de dos ejes. La torre central es la que recibe la luz solar concentrada de los heliostatos o espejos. En la torre central es por donde circula el líquido del trabajo y un sistema de generación de energía para poder destacar un dato muy curioso es que esta tecnología es la que alcanza mayor temperatura dentro de las tecnologías termosolares de CSP (Carrera, 2019).



Ilustración 15. Tecnología de Torre Central

Fuente: (ENERGIAS RENOVABLES, 2020)

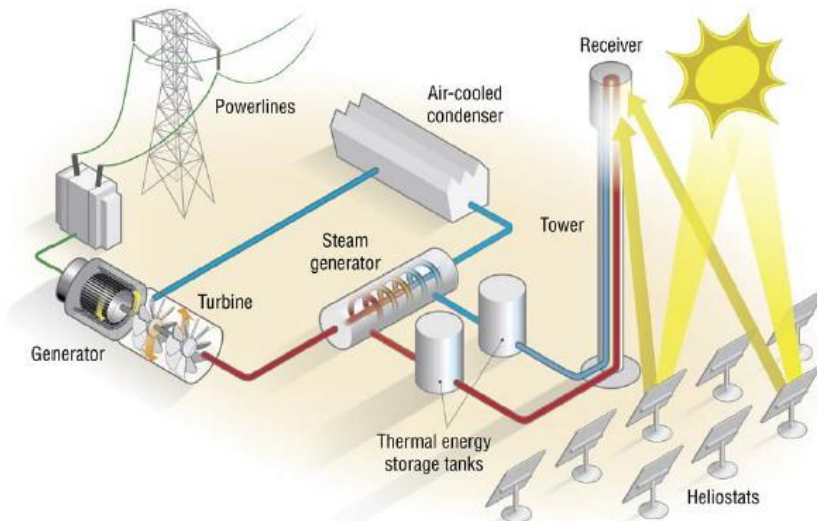


Ilustración 16. Esquema de una Central Termosolar de Torre Receptora

Fuente: (Villamizar, Olmedo, & Rudnick, 2020)

D) Discos Parabólicos

El sistema de disco parabólico consiste de un plato de un material reflectante de forma parabólica que puede concentrar la luz en un receptor fijo, el cual puede ser de dos tipos motor Stirling o una micro-turbina, situado en un punto focal. Los discos parabólicos requieren de un sistema de seguimiento de dos ejes y ocupan para su funcionamiento una temperatura muy alta (Carrera, 2019).

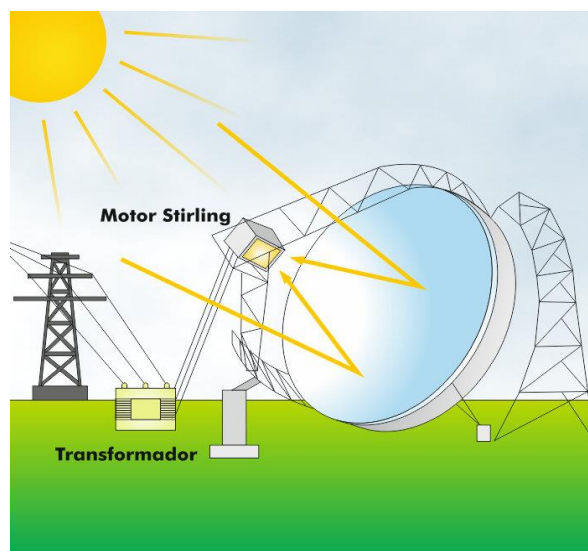


Ilustración 17. Tecnología de Discos Parabólicos

Fuente: (SOTAVENTO, 2020)

3.2.10. COMPONENTES DE UNA CENTRAL TERMOSOLAR DE RECEPTOR CENTRAL

A) Heliostato

La función del heliostato en una central termosolar de receptor central es captar la radiación solar y concentrar la radiación solar en el receptor central. Los heliostatos tienen un sistema llamado captador solar, la función del sistema es que se encarga en hacer que los heliostatos se muevan concorde a la radiación solar y puedan aprovechar mejor las horas de luz (Solari, 2019).



Ilustración 18. Heliostato

Fuente: (Delgado, 2018)

Para poder calcular el área del heliostato se tiene que tomar en cuenta el ancho y la altura del heliostato de igual manera se tiene que tomar los bordes para calcular el área utilizando la ecuación 3.

$$A_h = w_h \times h_h \times f_{ref}$$

Ecuación 3. Área del heliostato

Fuente: (Solari, 2019)

Donde:

- A_h : área de heliostato
- w_h : ancho de heliostato
- h_h : altura de heliostato
- f_{ref} : fracción de área reflectante

B) Receptor Central

El receptor central es una torre de gran altura ubicada en el medio de la central termosolar y es donde se concentra la radiación solar reflejada de los heliostatos. En la torre central es donde está instalada la tubería por donde pasa el fluido que se tiene que calentar para generar energía eléctrica. La parte superior de la torre puede ser de punta externa o de cavidad (Solari, 2019).

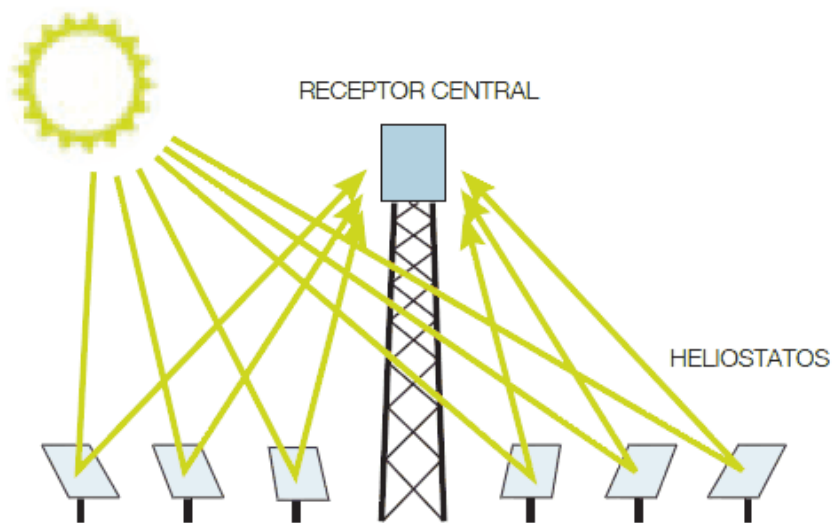


Ilustración 19. Receptor Central

Fuente: (Aramendia, 2014)

$$C_{receptor} = C_{receptor0} \times \left(\frac{A_{receptor}}{A_{receptorref}} \right)^c$$

Ecuación 4. Costo del receptor central

Fuente: (Solari, 2019)

Donde:

- $C_{receptor}$: costo del receptor [€]
- $C_{receptor0}$: costo referencial del receptor [€]
- $A_{receptor}$: área del receptor [m²]
- $A_{receptorref}$: área del receptor referencial [m²]
- c : exponente de escala del receptor [-]

3.2.11. COMPONENTES DE UNA CENTRAL DE COLECTOR CILINDROS PARABÓLICOS

Los colectores de cilindros parabólicos es una tecnología diferente a la tecnología de receptor central. Con colectores hay que calcular cual es la cantidad de colectores que tiene que ir por fila y dicho cálculo se puede hacer con la ecuación 5.

$$N_{CF} = \frac{\Delta T}{T_r}$$

Ecuación 5. Cantidad de colectores por fila

Fuente: (Carrera, 2019)

Donde:

- N_{CF} : Cantidad de colectores por fila
- ΔT : Diferencia de temperatura del campo solar
- T_r : Incremento de temperatura a la salida del colector

Cuando ya se conoce la cantidad de colectores que tiene que ir por línea seguido se tiene que calcular cual es la cantidad de lazos necesarios para el proyecto. La cantidad de lazos necesarios para el proyecto se puede calcular con la ecuación 6.

$$N_{LAZOS} = \frac{P_{th} * MS}{P_{thot}}$$

Ecuación 6. Cantidad de lazos

Fuente: (Carrera, 2019)

Donde:

- N_{LAZOS} : Cantidad de lazos
- P_{th} : Potencia térmica de diseño
- MS : Múltiplo solar

Ya determinando la cantidad de lazos se tiene que calcular la superficie total de los receptores utilizando la ecuación 7.

$$S_{colector} = N_{LAZOS} * N_{CF} * A_C$$

Ecuación 7. Superficie total de los colectores

Fuente: (Carrera, 2019)

Donde:

- $S_{colector}$: Superficie de colectores
- N_{LAZOS} : Cantidad de lazos
- N_{CF} : Cantidad de colectores por fila
- A_C : Área de apertura del colector

A) Reflector

La función del reflector en los colectores cilindro parabólicos es reflejar y concentrar la radiación solar al tubo por pasa el fluido de trabajo (TecnoBlog San Martin, 2011).

B) Tubo Absorbedor

El tubo absorbedor es un tubo de metal con una capa de vidrio en el colector cilindro parabólico, que es donde se encuentra y se calienta el fluido de trabajo que se utiliza en la central termosolar (TecnoBlog San Martin, 2011).

C) Sistema de Seguimiento

EL sistema de seguimiento es el que provoca que los colector cilindros parabólicos se muevan concorde a la ubicación del sol y que pueda aprovechar de mejor manera las horas de luz solar (TecnoBlog San Martin, 2011).

D) Estructura Metálica

La función de la estructura metálica es darles rigidez a los colectores cilindros parabólicos para que se puedan mantener en una posición estable y evitar cualquier contratiempo en el momento de funcionamiento (TecnoBlog San Martin, 2011).

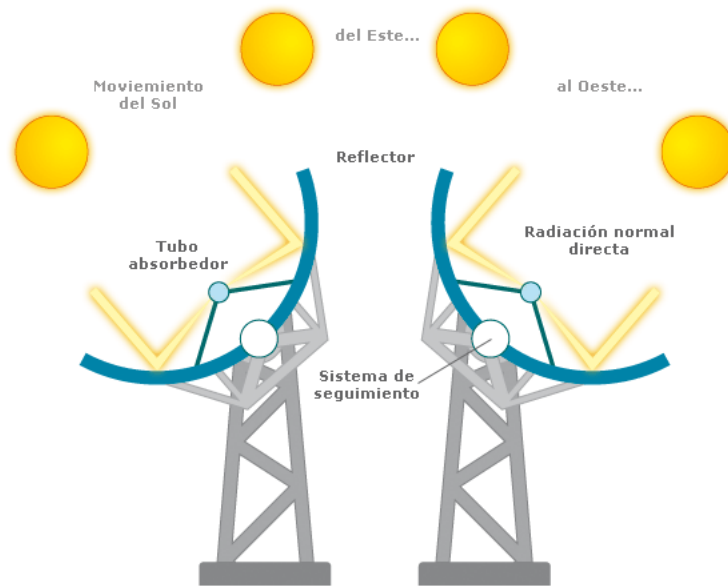


Ilustración 20. Componentes que conforman los colectores cilindros parabólicos

Fuente: (TecnoBlog San Martín, 2011)

3.2.12. BLOQUE DE POTENCIA

En el bloque de potencia es donde se transforma la energía térmica que transfiere el receptor central o el colector cilindro parabólico. Está conformado por:

A) Generador de Vapor

En el generador de vapor es a donde llega el fluido de trabajo utilizado en el receptor central y colector cilindro parabólicos. El generador de vapor también lo conocen como intercambiador de calor que es el lugar donde circula el fluido de trabajo y también agua y lo que provoca es que la energía térmica del fluido de trabajo al agua para que se pueda generar vapor y sea transferido a la turbina.

B) Turbina

La turbina es un elemento rotativo que se encarga en convertir el vapor que se transfiere del generador de vapor en energía mecánica. La turbina de una central termosolar tiene prácticamente el mismo funcionamiento que el de la turbina de una central térmica, lo único que si es diferente es el recurso energético necesario.

C) Condensador

Es el elemento que recibe el vapor que se utiliza la turbina para generar la energía mecánica. La función del condensador en una central termosolar es transformar el vapor de agua que se utilizó en la turbina para generar la energía mecánica. Ese vapor de agua lo transforma en su estado original de líquido y se puede volver a reutilizar en el ciclo de la central termosolar.

D) Generador Eléctrico

El generador eléctrico es el elemento del bloque de potencia que está conectado con la turbina. La función del generador de vapor es convertir la energía mecánica realizada por la turbina en energía eléctrica. Esa energía eléctrica después pasa a la subestación y seguido a las líneas de transmisión para que la energía eléctrica pueda llegar al consumidor final.

3.2.13. FLUIDO DE TRABAJO

El fluido de trabajo o fluido de transmisión térmica es bien importante en las centrales termosolares, ya que el fluido de trabajo es de donde se extrae el calor después de ser calentado mediante la tubería. El fluido de trabajo en una central termosolar se calienta mediante el sol y cuando se extrae el calor pasa a la turbina que es la que genera la energía eléctrica. El fluido de trabajo puede ser agua, aceite pesado o sales fundidas (HELIONOTICIAS, 2013). Para calcular en flujo' máximo de operación del sistema se utiliza la ecuación 8.

$$\dot{m}_{max} = \frac{f_{op\ max} \times P_t}{C_{pHTF} \times (T_{HHTF} - T_{CHTF})}$$

Ecuación 8. Flujo máximo de operación.

Fuente: (Solari, 2019)

Donde:

- \dot{m}_{max} : flujo másico máximo [kg/s]
- $f_{op\ max}$: fracción máxima de operación [-]
- P_t : potencia térmica [Wt]
- C_{pHTF} : calor específico del fluido (HTF Heat Transfer Fluid) [kJ/kgK]
- T_{HHTF} : temperatura caliente del fluido de trabajo, en este caso sales fundidas [°C]

- $T_{C\ HTF}$: temperatura fría del fluido de trabajo[°C]

3.2.14. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA (TES)

El sistema de almacenamiento es necesario principalmente en las centrales de energía termosolar. El almacenamiento de energía térmica es de gran importancia en las centrales termosolar ya que ayuda a que las centrales a ser más rentables ya que ayudan para producir energía eléctrica en horas que ya no hay luz solar, días lluviosos o días nublados (Grosu, 2020). La capacidad del almacenamiento térmico se calcula con la ecuación 9.

$$C_{t\ TES} = t_{op} \times P_{te}$$

Ecuación 9. Capacidad térmica del almacenamiento de energía

Fuente: (Solari, 2019)

Donde:

- $C_{t\ TES}$: capacidad térmica del TES (Thermal Energy Storage), almacenamiento térmico
- t_{op} : horas de almacenamiento del ciclo de potencia en operación a full
- P_{te} : potencia de diseño térmica de entrada del ciclo

3.2.15. LCOE (Levelized Cost of Electricity)

El LCOE ayuda para evaluar proyectos de generación de energía eléctrica, estos proyectos pueden ser de distintos tamaños o distintas tecnologías. Esta herramienta facilita la toma de decisiones del inversionista de los proyectos, es una herramienta que permite evaluar el costo total para construir y la operación del proyecto a largo de su vida útil (Rudnick, Charlín, Heisig, & Mohr, 2016).

$$LCOE = \sum_{i=1}^{25} \frac{CC_i [\$] + O\&M_i [\$] + Fuel Cost_i [\$]}{Energía_i [kWh]}$$

Ecuación 10. Calculo simple del costo nivelado de la electricidad

Fuente: (Ragheb, 2017)

Donde:

- CC_i = Costo Capital [\\$]
- $O\&M_i$ = Costo de Operación y Mantenimiento [\\$]
- $Fuel Cost_i$ = Costo del Combustible para Operación [\\$]
- $Energía_i$ = Energía Generada [kWh]

IV. METODOLOGÍA

4.1. ENFOQUE

La metodología adoptada para esta investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que se utiliza en la recolección de datos de las dos tecnologías de centrales termosolares con el fin de probar una hipótesis, con base en la recopilación de datos técnicos y económicos.

El proyecto tiene un alcance descriptivo ya que se estudia datos técnicos y económicos de las dos tecnologías termosolar colector cilindro parabólicos y receptor central.

El proyecto tiene un tipo de estudio experimental ya que la investigación no manipulamos las variables de investigación.

Tiene un tipo de diseño longitudinal ya que en el estudio se basa un periodo extenso de tiempo ya que calcula el LCOE. El LCOE se calcula en toda la vida útil del proyecto



Ilustración 21. Esquema Metodológico de la Investigación

Fuente: Elaboración Propia

4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

4.2.1. VARIABLE DEPENDIENTE

El LCOE es la variable dependiente ya que esta se puede ver afectada de manera directa o indirectamente por las variables independientes asociadas a su financiamiento, los costos de operación y mantenimiento, horas de operación y la energía eléctrica generada. Estas variables son importantes para determinar el LCOE, ya que pueden afectar el LCOE de manera positiva o de manera negativas.

4.2.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

La irradiación directa normal es puesta como variable independiente ya que afecta de gran manera el LCOE del proyecto, ya que la irradiación solar directa es la que aprovecha la central para de generación de energía eléctrica. La vida útil del proyecto representa cuanto tiempo generara ingresos la central por medio de generación de energía eléctrica.

La inversión inicial y los costos de operación y mantenimiento influyen en el LCOE ya que es el gasto de efectivo que se tendrá en toda la vida útil del proyecto, desde su comienzo en la construcción hasta en su etapa de operación.

El almacenamiento térmico permite que la central termosolar pueda generar energía eléctrica en horas que no hay luz solar, días nublados y lluviosos, por eso representa influencia en el LCOE y representado aumento en generación eléctrica.

El impacto ambiental es una variable independiente porque puede llegar a afectar el proyecto desde su primera etapa que es la planeación en la cuestión del licenciamiento ambiental. También se evalúa la cantidad de emisiones de CO₂ que produce la central.

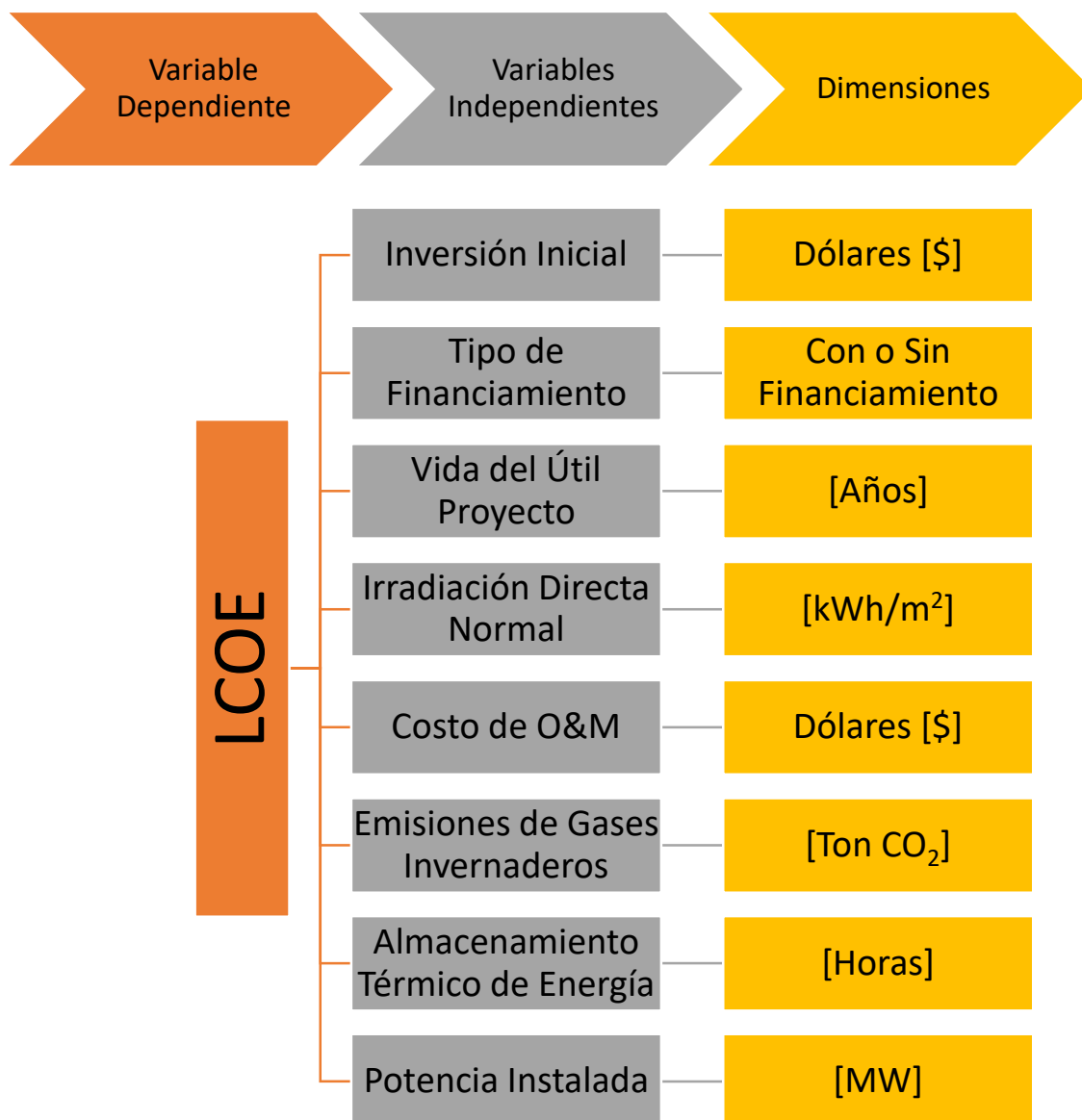


Ilustración 22. Dimensiones de las Variables Independientes

Fuente: Elaboración Propia

4.3. HIPÓTESIS

H₁: Las centrales termosolares de colectores cilindros parabólicos son más viables técnica y económicamente en el municipio de Nacaome, su LCOE es menor que el de las centrales termosolares de receptor central.

H₂: Las centrales termosolares de receptor central son más viables técnica y económicamente en el municipio de Nacaome, su LCOE es menor que el de las centrales termosolares de colectores cilindros parabólicos.

4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Para la elaboración de la siguiente investigación se realizó una recolección de información acerca del tema en páginas web, artículos en la web, libros, artículos de revisión, blogs de tecnología con el fin de tener una mejor comprensión acerca del tema.

Para realizar el análisis de comparación y conocer cuál tecnología termosolar es más viable en municipio de Nacaome, Valle. Se tomó como referencia el LCOE de las dos tecnologías, el LCOE ayuda a comprender el comportamiento de las dos tecnologías termosolares que se van a comparar.

Para la investigación es necesario la utilización de un programa que pueda simular los dos tipos de tecnologías y que proporcione la información tecno-económica de las de las dos tecnologías termosolares.

El software SAM (System Advisor Model) es el principal instrumento de la presente investigación, este software ayuda a simular diferente tipo de centrales de generación de energía eléctrica y proporciona datos tecno-económicos. El software proporciona los datos meteorológicos del lugar de donde se planea realizar la simulación ingresando las coordenadas.

Microsoft Excel es otra herramienta utilizada en la investigación se utilizó para realizar el análisis financiero de las dos tecnologías y así poder determinar su VAN, TIR y periodo de recuperación de la inversión. También funciona para conocer cuál será el flujo de efectivo para las dos tecnologías en toda su vida útil.

QGIS es la herramienta utilizada para elaborar el mapa que se muestra en la metodología de la investigación.

4.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

Esta investigación está centrada en el municipio de Nacaome, este municipio se encuentra en el departamento de Valle y esta región está ubicado en el sur de Honduras.

Se escogió este departamento debido a los altos valores de irradiación solar que presenta la región.

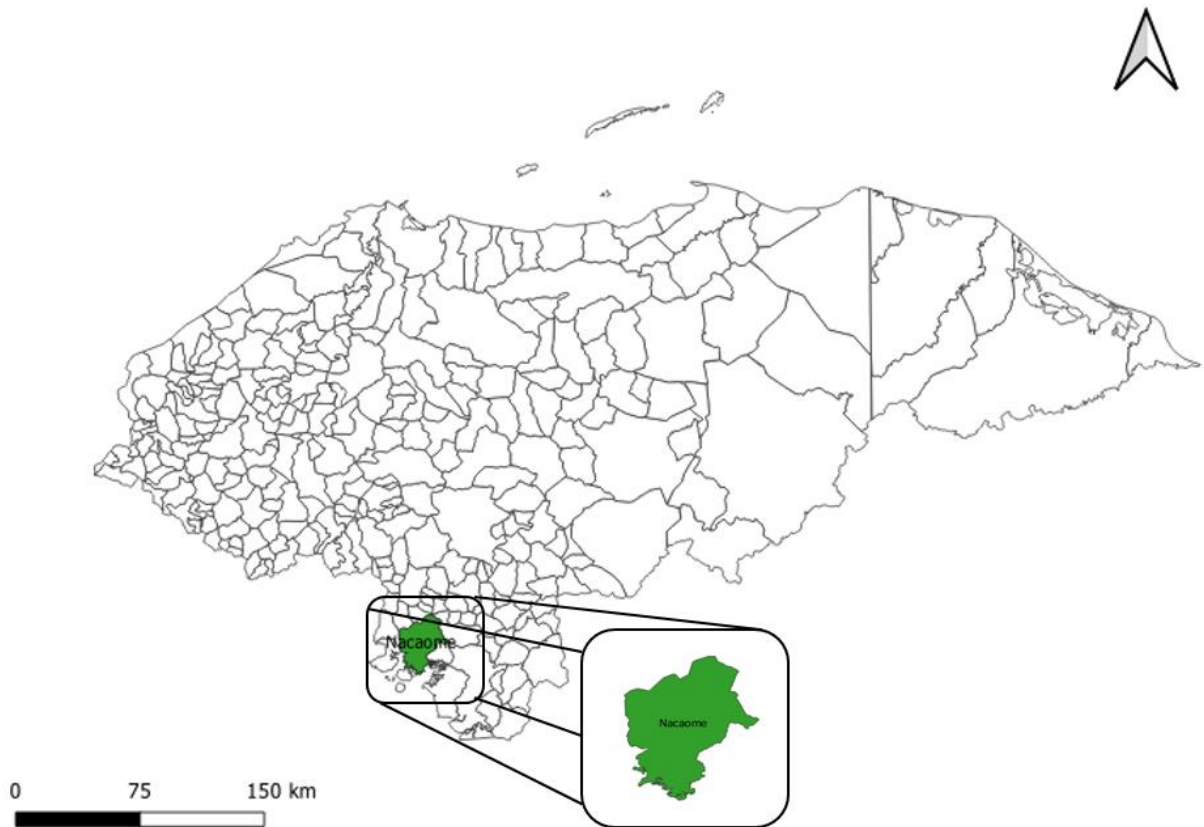


Ilustración 23. Muestra de Investigación (Municipio de Nacaome)

Fuente: Elaboración Propia

4.6. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En este apartado se describen todo procedimiento, técnicas, instrumentos y actividades que se realizaron para esta investigación.

4.6.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

La investigación consiste en comparar tecnologías termosolares en el municipio de Nacaome. Los dos tipos de tecnologías involucrados son: colector cilindro parabólico y receptor central. Para estas dos tecnologías se calculará el LCOE, para poder comparar dichas tecnologías. Si el LCOE de la tecnología de colectores cilindros parabólicos es menor que el de la tecnología de receptor central entonces, se podrá comprobar la hipótesis de investigación. Para calcular el LCOE se utiliza la ecuación 10, ubicada en el capítulo 3 de la presente investigación, para dicha fórmula es necesario tener el costo del capital, costos de operación y mantenimiento, el costo de combustible (esta variable no se consideraría ya que las centrales termosolares no utilizan combustibles fósiles para su operación) y la energía eléctrica generada a lo largo de la vida útil del proyecto.

Los colectores y receptores para la central de colector cilindros parabólicos son seleccionados por recomendados por SAM, se utilizan colectores FLABEG Ultimate Trough RP6 y receptores Schott PTR80. Según recomendación del software SAM para la capacidad de 40MW de la central termosolar es necesario utilizar la cantidad de 77 lazos, estos se calculan mediante la ecuación 6, está ubicada en el capítulo 3 de la presente investigación. Cada lazo contiene una cantidad de 3 colectores y receptores ensamblados, estos se calculan mediante la ecuación 5, ubicada en el capítulo 3 de la presente investigación. La central termosolar de colectores cilindros parabólicos utiliza un ciclo rankine y su fluido de trabajo es sal líquida condensada ya que contiene un mayor poder calorífica para la producción de energía eléctrica. Se contará con una capacidad de almacenamiento térmico de 10 horas para que la central pueda laborar en horas que no hay luz solar y días nublados o lluviosos. Tendrá dos tanques para almacenamiento térmico un tanque para sal caliente y otro para la sal fría.

Los heliostatos seleccionados para la central de receptor central son recomendados por SAM, son de 12.2 metros de ancho y 12.2 metros de largo. SAM ubica los heliostatos de manera óptima para que puedan dar su mejor funcionamiento y evitar pérdidas. Se utilizará la cantidad de 2,825 heliostatos en la central de receptor central. La central termosolar de receptor central de igual manera trabaja con un ciclo rankine y su fluido de trabajo es sal líquida condensada por su gran poder calorífico. Su almacenamiento térmico es de 10 horas para que pueda trabajar en horas que no hay

luz solar y en días nublados o lluviosos. Tendrá dos tanques para almacenamiento térmico un tanque para sal caliente y otro para la sal fría.

4.6.2. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

Se inició la investigación con una recopilación de datos relacionados con el tema de investigación, también se analizaron bastantes restudios de factibilidad de diferentes proyectos en el mundo. Para la investigación se tuvo que estudiar la situación actual de las tecnologías termosolares de concentración en distintas partes del mundo. Posteriormente se recopilaron las teorías de sustento de la investigación.

4.6.3. DETERMINACIÓN DE VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Se determinó la elección de las variables dependientes y las variables independientes que afectaran la investigación. El LCOE se eligió como variable dependiente, ya que acorde al LCOE se centra la investigación ya que este abarca los parámetros del estudio tecno-económico y en base a los resultados se puede determinar la hipótesis de la investigación. Las variables independientes que se eligieron para la investigación fueron: la inversión inicial, la vida útil del proyecto, costo de operación y mantenimiento, potencia instalada, energía generada, almacenamiento térmico y el impacto ambiental.

4.6.4. SIMULACIONES EN SAM

Para la siguiente investigación se realizaron simulaciones en el software SAM de los tipos de tecnologías que se está comparando. SAM contiene documentos con la irradiación directa, horas solares y velocidades del viento del lugar donde planea realizar la investigación. SAM simula un sistema de colector cilindros parabólicos y un sistema de receptor central y proyecta resultados de generación eléctrica de cada sistema termosolar durante toda la vida útil del proyecto, cabe destacar que SAM aconseja al momento de realizar las simulaciones que elementos son mejores tales como tuberías, heliostatos, colectores y el fluido de trabajo. Todos los datos entregados por SAM serán utilizados en el análisis tecno-económicos.

4.6.5. ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO

Con los valores obtenidos de las simulaciones del software SAM, se desarrolla el análisis tecno-económico ya con los valores de generación obtenidos en toda la vida útil del proyecto y a su vez ya tomando el factor de degradación de las dos tecnologías de colector cilindros parabólicos y de receptor central. Se desarrolla el análisis económico tomando dos escenarios con financiamiento y sin financiamiento. En los dos escenarios se considera siempre la inversión inicial y los costos de operación y mantenimiento de cada tecnología termosolar. Para el escenario con financiamiento se toma un modelo de 70% mediante un préstamo y un 30% por medio de accionistas. Para el segundo escenario sin financiamiento la totalidad de la inversión es de accionistas. Para los dos escenarios se calcula el VAN, TIR, periodo de recuperación y flujo de efectivo durante toda la vida útil del proyecto.

4.6.6. ANÁLISIS AMBIENTAL

Para la investigación se realiza un análisis ambiental de las dos tecnologías para conocer cuál será el impacto ambiental que provocaran las tecnologías termosolares. Para la cantidad de emisiones de CO₂ que será liberada a la atmosfera en su etapa de operación.

En la ilustración 24 se demuestra la metodología que se siguió para elaboración de la actual investigación.

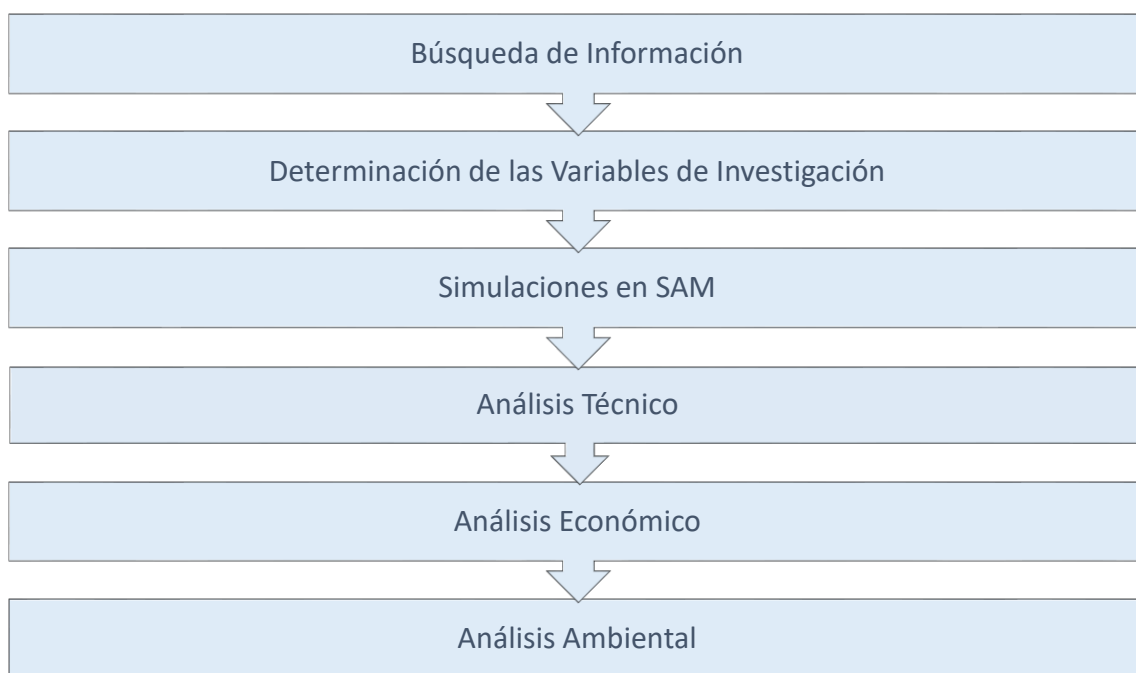


Ilustración 24. Metodología de Investigación

Fuente: Elaboración Propia

4.7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 4. Cronograma de Actividades

Actividades para la elaboración del Proyecto de Investigación	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Resumen										
Introducción										
Planteamiento del problema										
Marco Teórico										
Metodología										
Simulaciones SAM										
Análisis Tecno-Económico										
Análisis Ambiental										
Resultados y Análisis										
Conclusiones										
Recomendaciones										
Aplicabilidad/ Implementación										
Evolución de trabajo actual/ trabajo futuro										
Bibliografía										
Anexos										
Informe Final										
Pre-defensa										

Fuente: Elaboración Propia

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este apartado se muestran los resultados que se obtuvieron por medio de las simulaciones en el software SAM y del análisis tecno-económico.

5.1. GENERACIÓN DE ENERGÍA

5.1.1. COLECTOR CILINDROS PARABÓLICOS

En la ilustración 25 se muestra el funcionamiento de una central termosolar de colector de cilindro parabólico. Después de realizar las simulaciones en el simulador SAM se logró conocer cuánto sería la energía generada por este tipo de tecnología durante toda su vida útil. En la tabla 5 se puede observar la energía generada durante sus 30 años.

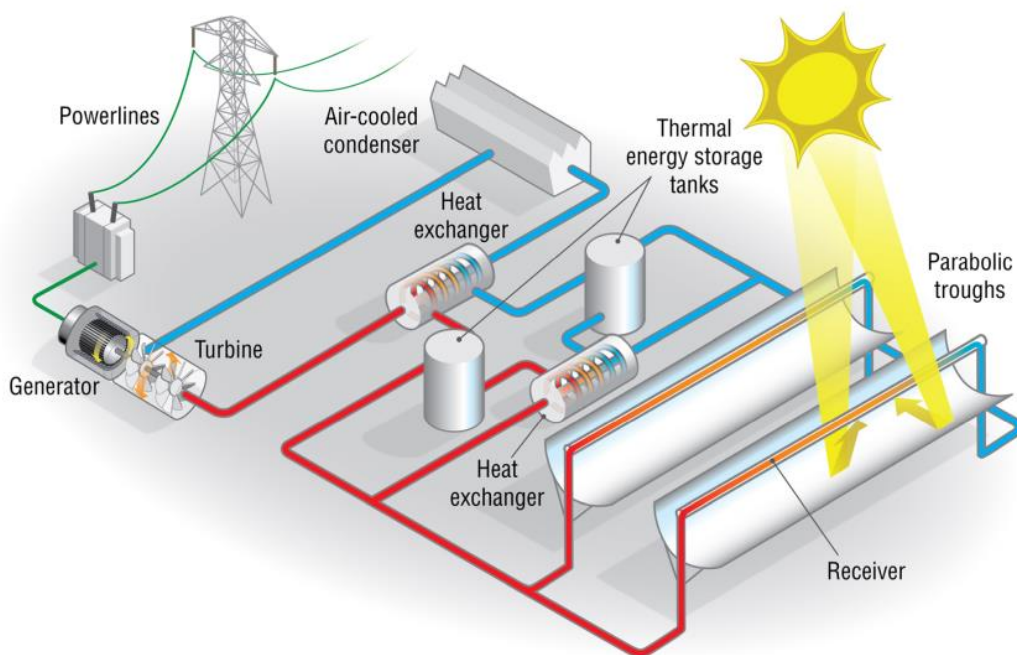


Ilustración 25. Esquema de Funcionamiento Colector Cilindro Parabólico

Fuente: (SAM, 2020)

En la tabla 5 se muestran las propiedades del colector utilizado, el colector utilizado es recomendado por SAM.

Tabla 5. Propiedades del colector utilizado

PROPIEDADES	VALOR
Área de apertura reflectante	1720 m ²
Ancho de apertura	7.53 m
Longitud del ensamblaje del colector	247 m
Superficie promedio para enfocar la longitud del camino	2.38 m
Distancia de tubería entre ensamblajes	1.5 m

Fuente: (SAM, 2020)

En la tabla 6 se muestran los parámetros del receptor utilizado, el receptor utilizado es recomendado por SAM.

Tabla 6. Propiedades del receptor utilizado

PROPIEDADES	VALOR
Diámetro interno del tubo	0.076 m
Diámetro externo del tubo	0.08 m
Diámetro interior del vidrio del tubo	0.115 m
Diámetro externo del vidrio del tubo	0.12 m
Tipo de material	304L

Fuente: (SAM, 2020)

La energía generada para la tecnología de colector cilindro parabólico en el primer año es de 142.533 GWh. Esta energía se va reduciendo al pasar de los años debido al factor de degradación como se puede observar en la ilustración 26.

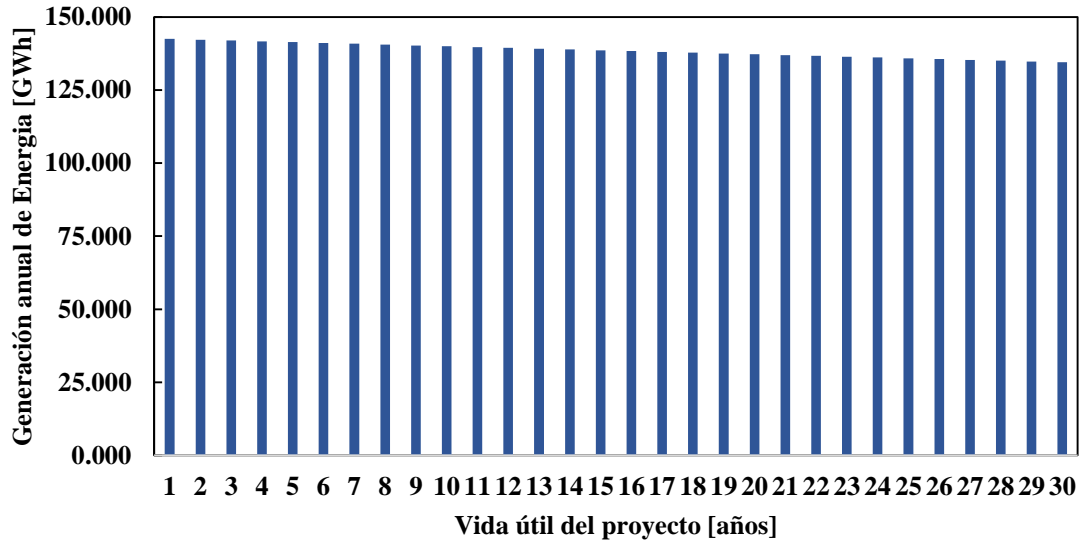


Ilustración 26. Generación de energía eléctrica colector cilindro parabólico durante toda su vida útil

Fuente: Elaboración Propia

5.1.2. RECEPTOR CENTRAL

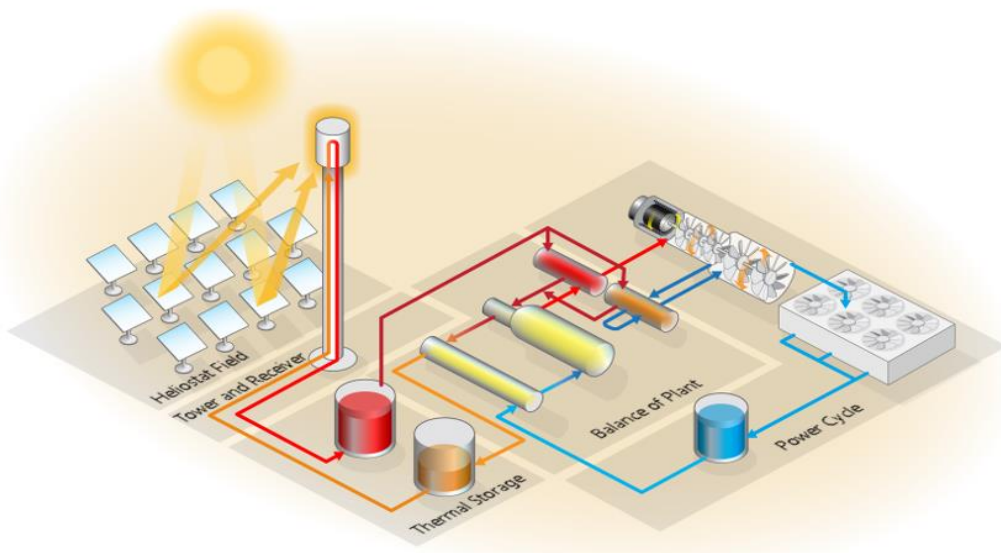


Ilustración 27. Esquema de Funcionamiento Receptor Central

Fuente: (SAM, 2020)

En la ilustración 27 se demuestra el funcionamiento de una central termosolar de receptor central. De igual forma al sistema de colectores cilindros parabólicos se realizaron simulaciones para el sistema de receptor central en el simulador SAM. Cabe destacar que las tecnologías pueden seguir generando cuando no hay luz solar por medio de su sistema de almacenamiento térmico de 10 horas.

En la tabla 7 se muestran las propiedades de los heliostatos utilizados en la tecnología de receptor central. las propiedades son recomendadas por SAM.

Tabla 7. Propiedades de los heliostatos

PROPIEDADES	VALOR
Ancho de heliostatos	12.2 m
Alto de heliostatos	12.2 m
Fracción de área reflectante	0.97
Área del heliostato	144.37 m ²
Número de heliostatos	2825
Error de imagen reflectada	1.53 rad
Error de imagen total	4.32 rad

Fuente: (SAM, 2020)

En la tabla 8 se muestran las dimensiones de la torre y del receptor, estas dimensiones son recomendadas por SAM.

Tabla 8. Dimensiones de la torre y del receptor

PROPIEDADES	VALOR
Altura de la torre	104,819 m
Altura del receptor	10,624 m
Diámetro del receptor	9.63262 m
Número de paneles en el receptor	20

Fuente: (SAM, 2020)

La energía generada para la tecnología de receptor central el primer año es de 144.037 GWh. Esta energía se va reduciendo al pasar de los años debido al factor de degradación como se puede observar en la ilustración 28.

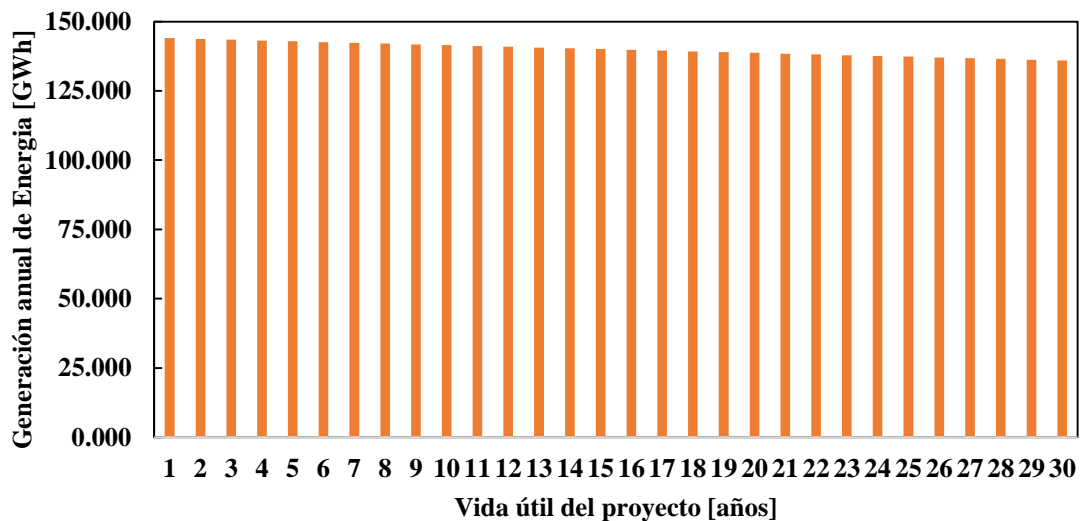


Ilustración 28. Generación de energía eléctrica receptor central durante toda su vida útil

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 29 se muestra la energía eléctrica generada por las dos tecnologías durante toda su vida útil. La barra color anaranjada representa la tecnología de receptor central y la barra color azul representa la tecnología de colector cilindro parabólicos. Se puede observar que la tecnología de receptor central genera más energía eléctrica que la tecnología de colector de cilindros parabólicos.

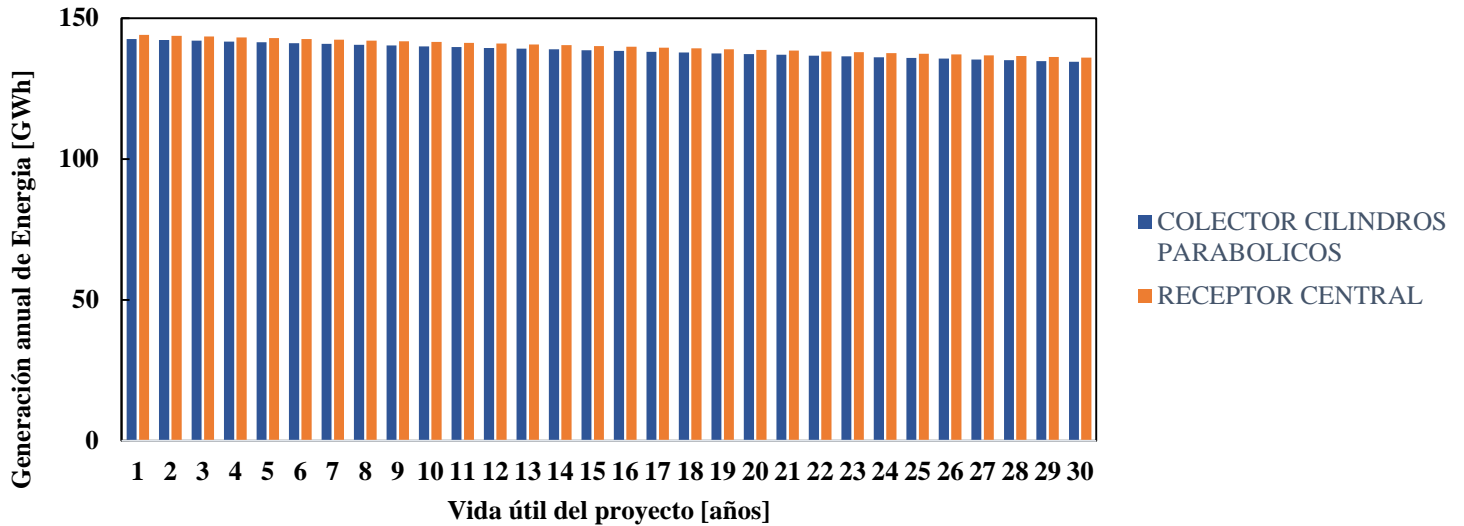


Ilustración 29. Comparación de energía eléctrica generada de las dos tecnologías durante toda su vida útil

Fuente: Elaboración Propia

5.2. COSTOS DE INVERSIÓN INICIAL, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Según (IRENA, 2020), el costo específico de capital de una central CSP que contenga un almacenamiento térmico de 8 a 16 horas se encuentra entre 3,910-6,355 \$/kW. Estos valores varían con respecto a la capacidad térmica de cada central ya que este aumenta el costo específico de capital.

En la ilustración 30 se muestra una comparación del costo capital en ambas tecnologías termosolares. Se presentaron dos escenarios tomando en consideración terreno y sin el terreno. En la tecnología de receptor central sin considerar el costo del terreno se presentó un valor de 4,374.05 \$/kW y al considerar el costo del terreno se presentó un valor de 4,492.37 \$/kW. La diferencia entre los valores es el costo de terreno

que es de \$4,733,044.94. En la tecnología de colector cilindros parabólicos sin considerar el costo del terreno se presentó un valor de 3,952.49 \$/kW y al considerar el costo del terreno se presentó un valor de 4,003.60 \$/kW. La diferencia entre los valores es el costo de terreno que es de \$2,044,378.05.

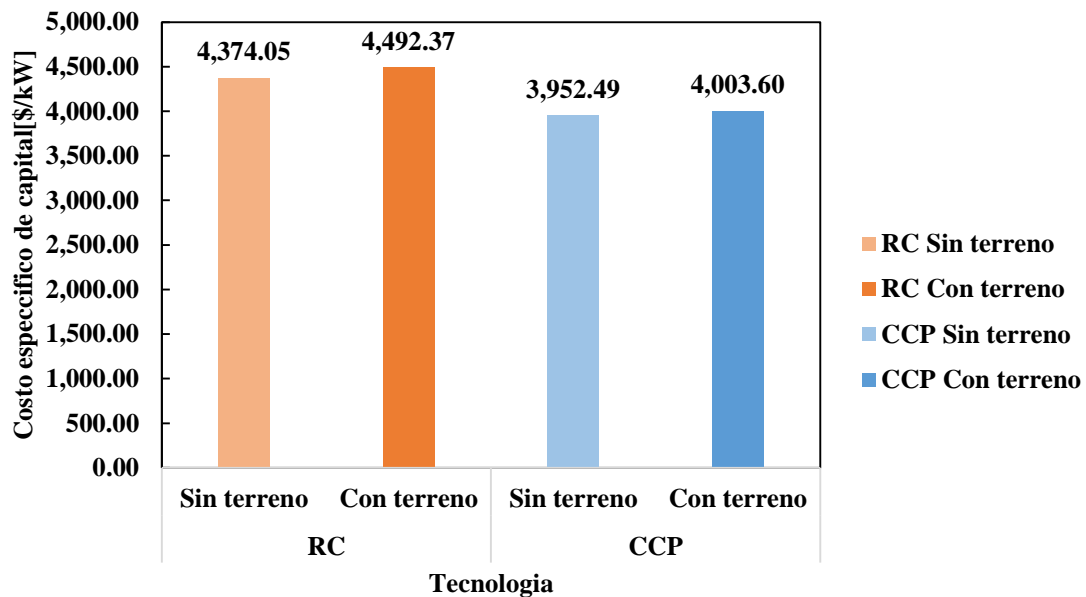


Ilustración 30. Comparación de costo específico capital de las dos tecnologías

Fuente: Elaboración Propia

Los costos de operación y mantenimiento del proyecto en ambas tecnologías poseen el mismo valor de \$2,640,000 tomando los valores de costos presentados por SAM.

5.3. COSTO DE TERRENO Y COBERTURA DEL SUELO

Los costos de los terrenos dependen de su ubicación y condición como se encuentren. El valor utilizado es un promedio acerca de varias cotizaciones realizadas en el municipio donde se realiza la investigación. El costo de una manzana de terreno en Nacaome, Valle es de 12,345.68 \$/mz.

Las superficies del suelo para cada sistema son diferentes por los componentes de cada uno. Para la tecnología de colectores cilindros parabólicos se utilizará un área total

de 165 manzanas de terreno ya que toma en cuenta las dimensiones de colectores y receptores, del bloque de potencia y de los tanques de almacenamiento térmico. Para la tecnología de receptor central se utilizará un área total de 382 manzanas de terreno ya que tomamos en cuenta las dimensiones del campo de los heliostatos, torre central, el bloque de potencia y de los tanques de almacenamiento térmico.

5.4. COSTO NIVELADO DE LA ELECTRICIDAD (LCOE)

Para calcular el LCOE se consideran dos escenarios de financiamiento del proyecto: con financiamiento y sin financiamiento. Dentro de estos dos escenarios se toman en cuenta dos consideraciones, con el valor del terreno y sin el valor del terreno. Para calcular el LCOE se tiene que tomar en cuenta el costo capital específico, costo de O&M y la energía generada.

Tabla 9. Parámetros de entrada de las dos tecnologías

PARÁMETROS DE ENTRADA	Colector Cilindros Parabólicos		Receptor Central	
	Sin terreno	Con terreno	Sin terreno	Con terreno
Capacidad Instalada [kW]	40,000	40,000	40,000	40,000
Costo de Capital Específico [\$/kW]	3,952.49	4,003.60	4,374.05	4,492.37
Tasa de Inflación [%]	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
Tarifa de energía eléctrica [\$/kW]	0.14	0.14	0.14	0.14
Incremento Anual [%]	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
Costo por O&M [\$/kW-año]	66	66	66	66.
Costo Capital Total [\$]	158,099,792	160,144,170	174,961,910	179,694,955
Inversión de Fondos Propios [%]	30%	30%	30%	30%
Inversión de Fondos Propios [\$]	47,429,937.75	48,043,251.16	52,488,573	53,908,486
Tasa de Interés fondos Propios [%]	10%	10%	10%	10%
Deuda [%]	70%	70%	70%	70%
Deuda [\$]	110,669,854.7	112,100,919.38	122,473,337	125,786,468
Tasa de Interés Préstamo [%]	8.5%	8.5%	8.5%	8.5%
Plazo de préstamo [años]	10	10	10	10
Tasa impositiva ISR [%]	25%	25%	25%	25%
Seguros [\$]	1,043,071.20	1,043,071.20	1,154,320	1,154,320
Factor de Degradación	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%
Vida Útil del proyecto [años]	30	30	30	30
Tasa de Descuento [%]	10%	10%	10%	10%
Costo Capital Promedio Ponderado [%]	8.95%	8.95%	8.95%	8.95%

Fuente: Elaboración propia

5.4.1. LCOE SIN FINANCIAMIENTO Y SIN CONSIDERAR EL VALOR DEL TERRENO

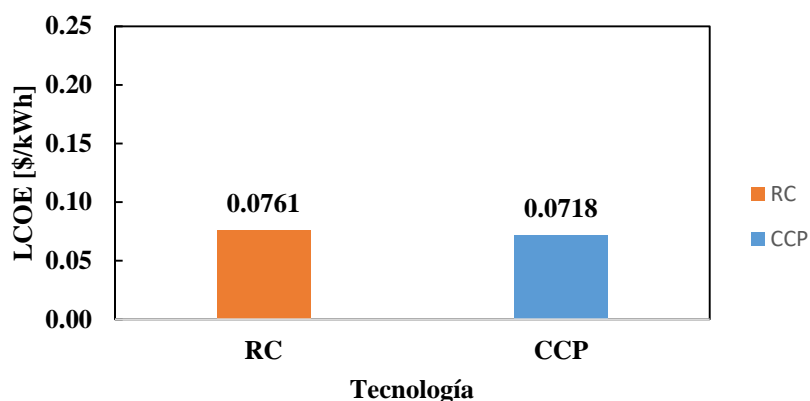


Ilustración 31. LCOE sin financiamiento y sin considerar el terreno

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 31 se muestra los valores de LCOE de ambas tecnologías termosolares. Para el receptor central presenta un LCOE de 0.0761 \$/kWh y para el colector cilindro parabólico se presentó un LCOE con 0.0718 \$/kWh.

Tabla 10. Parámetros de salida sin financiamiento y sin considerar el valor del terreno

PARÁMETROS DE SALIDA SIN FINANCIAMIENTO	Receptor Central	Colector Cilindros Parabólicos
VAN [\\$]	-12,341,977	9,159,653
TIR [%]	9.1%	10.3%
Periodo de Recuperación [años]	9.00	8.02
ROI [%]	-7%	6%
LCOE [\$/kWh]	0.0761	0.0718

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 10 se muestran los parámetros financieros de salida de las dos tecnologías termosolares. Para receptor central obtuvo un VAN de -12,341,977 y una TIR de 9.1%. Para colector cilindro parabólicos obtuvo un VAN de 9,159,653 y una TIR de 10.3%.

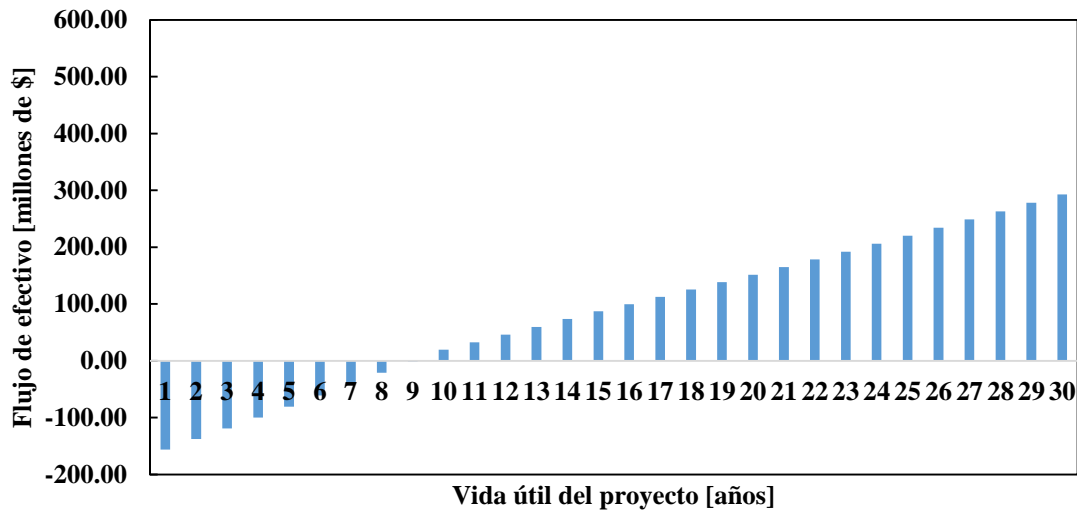


Ilustración 32. Flujo de efectivo sin financiamiento y sin considerar el valor del terreno de receptor central

Fuente: Elaboración Propia

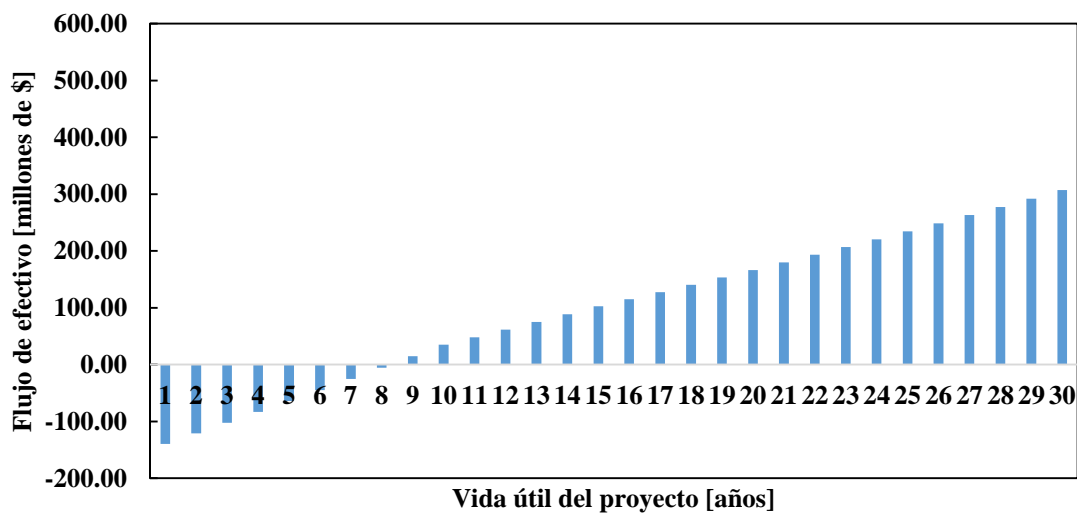


Ilustración 33. Flujo de efectivo sin financiamiento y sin considerar el valor del terreno de colector cilindros parabólicos

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 32 y 33 se muestran el flujo de efectivo de receptor central y colector cilindro parabólico respectivamente. La tecnología de receptor central en este escenario tiene su periodo de retorno en el año 9 y colector cilindro parabólico en año 8.

5.4.2. LCOE SIN FINANCIAMIENTO Y CONSIDERANDO EL VALOR DEL TERRENO

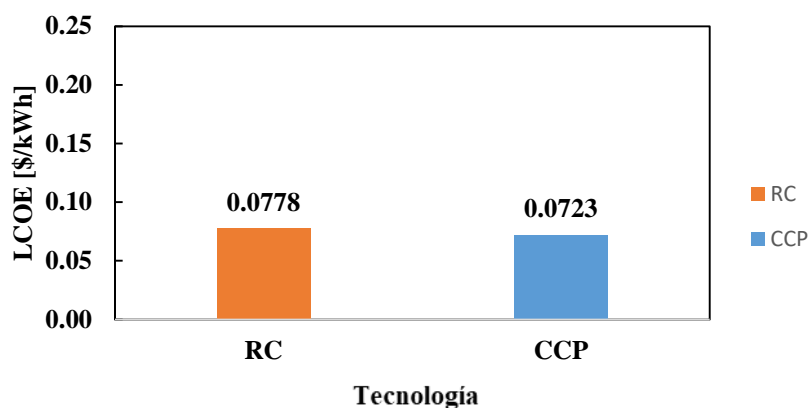


Ilustración 34. LCOE sin financiamiento y considerando el valor del terreno

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 34 se muestra los valores de LCOE de ambas tecnologías termosolares. Para el receptor central presenta un LCOE de 0.0778 \$/kWh y para el colector cilindro parabólico se presentó un LCOE con 0.0723 \$/kWh.

Tabla 11. Parámetros de salida sin financiamiento y considerando el valor del terreno

PARÁMETROS DE SALIDA SIN FINANCIAMIENTO	Receptor Central	Colector Cilindros Parabólicos
VAN [\$]	-18,483,105	1,458,480
TIR [%]	8.6%	10.1%
Periodo de Recuperación [años]	9.03	8.03
ROI [%]	-10%	1%
LCOE [\$/kWh]	0.0778	0.0723

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 11 se muestran los parámetros financieros de salida de las dos tecnologías termosolares. Para receptor central obtuvo un VAN de -18,483,105 y una TIR de 8.6%. Para colector cilindros parabólicos obtuvo un VAN de 1,458,480 y una TIR de 10.1%.

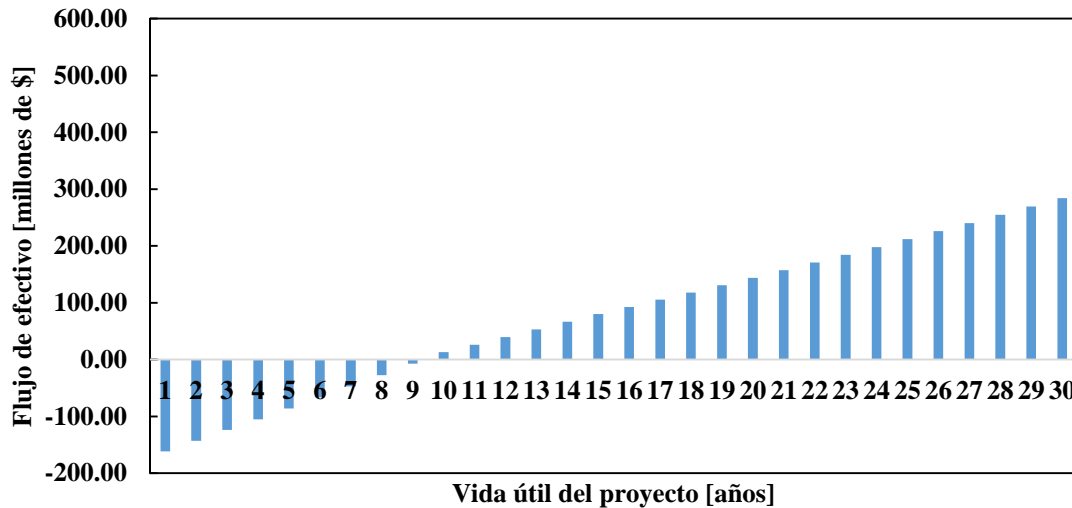


Ilustración 35. Flujo de efectivo sin financiamiento considerando el valor del terreno de receptor central

Fuente: Elaboración Propia

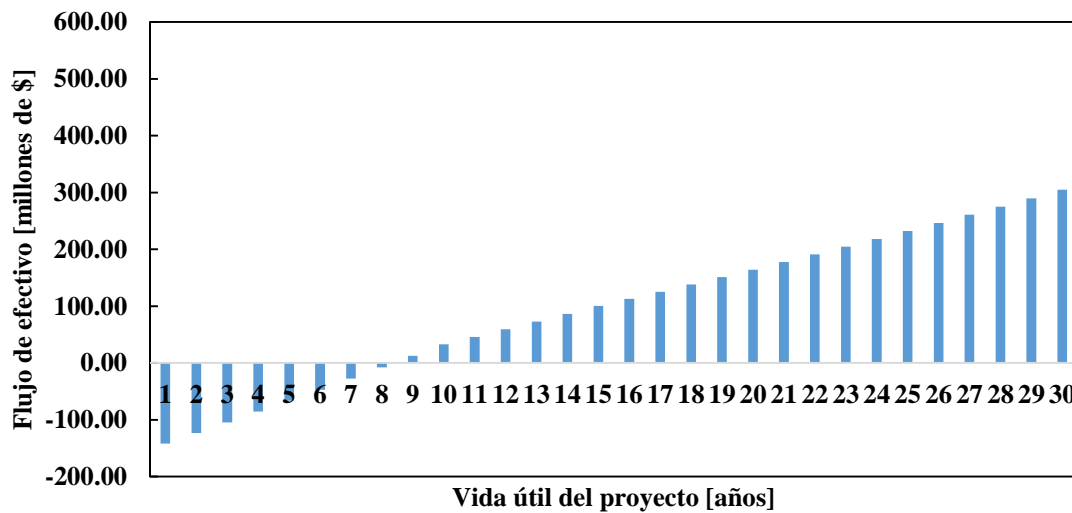


Ilustración 36. Flujo de efectivo sin financiamiento considerando el valor del terreno de colector cilindro parabólicos

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 35 y 36 se muestran el flujo de efectivo de receptor central y colector cilindro parabólico respectivamente. La tecnología de receptor central en este escenario tiene su periodo de retorno en el año 9 y colector cilindro parabólico en año 8.

5.4.3. LCOE CON FINANCIAMIENTO Y SIN CONSIDERAR EL VALOR DEL TERRENO

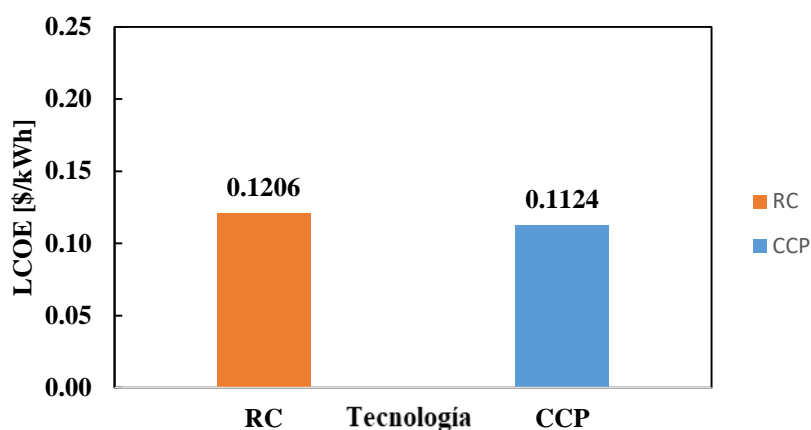


Ilustración 37. LCOE con financiamiento y sin considerar el valor del terreno

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 37 se muestra los valores de LCOE de ambas tecnologías termosolares. Para receptor central se presenta un LCOE de 0.1206 \$/kWh y para el colector cilindro parabólico se presentó un LCOE con 0.1335 \$/kWh.

Tabla 12. Parámetros de salida con financiamiento y sin considerar el valor del terreno

PARÁMETROS DE SALIDA CON FINANCIAMIENTO	Receptor Central	Colector Cilindros Parabólicos
VAN [\$]	-66,058,749	-43,783,912
TIR [%]	4.3%	5.6%
Periodo de Recuperación [años]	18.06	16.04
ROI [%]	-54%	-40%
LCOE [\$/kWh]	0.1206	0.1124

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 12 se muestran los parámetros financieros de salida de las dos tecnologías termosolares. Para receptor central obtuvo un VAN de -66,058,749 y una TIR de 4.3%. Para colector cilindro parabólicos obtuvo un VAN de -43,783,912 y una TIR de 5.6%.

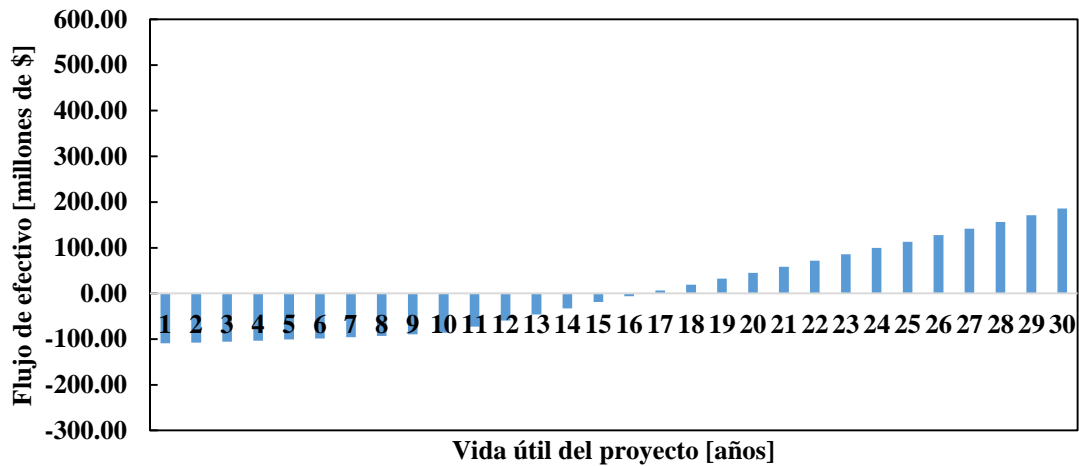


Ilustración 38. Flujo de efectivo con financiamiento y sin considerar el valor del terreno de receptor central

Fuente: Elaboración propia

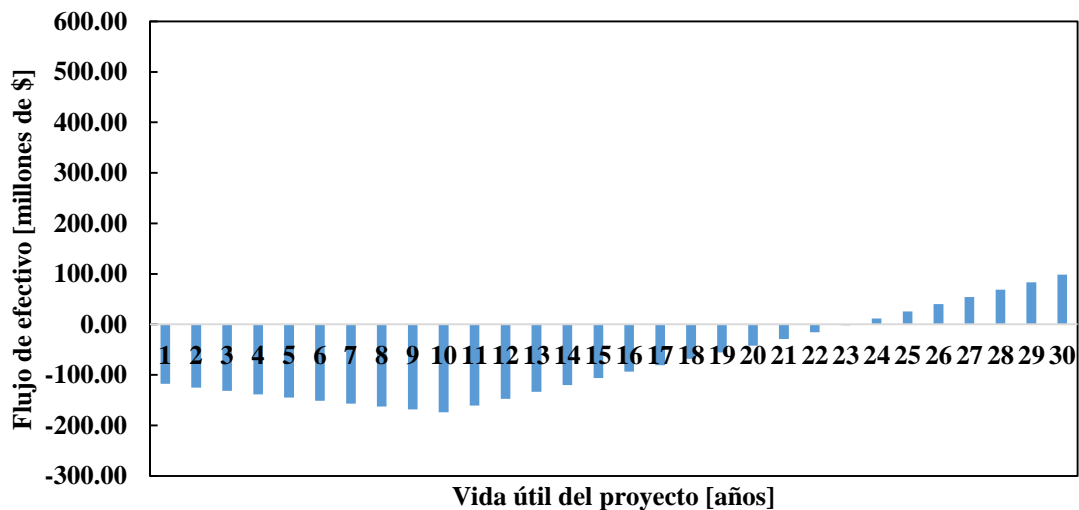


Ilustración 39. Flujo de efectivo con financiamiento y sin considerar el valor del terreno de colector cilindros parabólico

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 38 y 39 se muestran el flujo de efectivo de receptor central y colector cilindro parabólico respectivamente. La tecnología de receptor central en este escenario tiene su periodo de retorno en el año 18 y colector cilindro parabólico en año 16.

5.4.4. LCOE CON FINANCIAMIENTO Y CONSIDERANDO EL VALOR DEL TERRENO

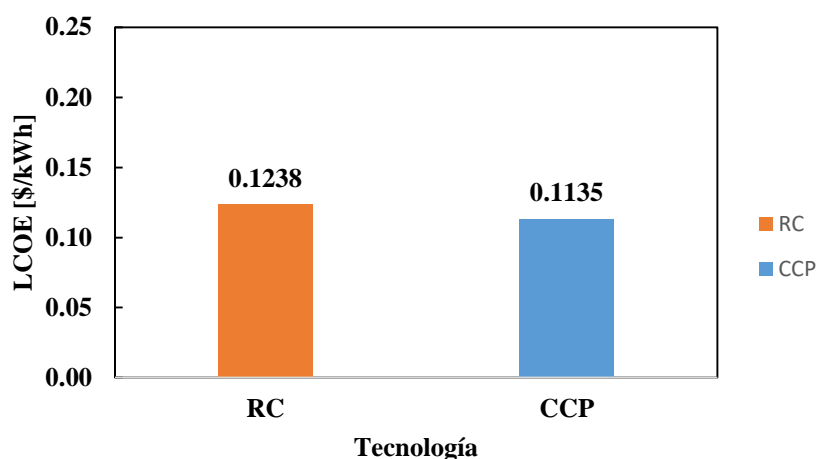


Ilustración 40. LCOE con financiamiento y considerando el valor del terreno

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 40 se muestra los valores de LCOE de ambas tecnologías termosolares. Para receptor central presenta un LCOE de 0.1238 \$/kWh y para el colector cilindro parabólico se presentó un LCOE con 0.1357 \$/kWh.

Tabla 13. Parámetro de salida con financiamiento y considerando el valor del terreno

PARÁMETROS DE SALIDA CON FINANCIAMIENTO	Receptor Central	Colector Cilindros Parabólicos
VAN [\$/]	-74,151,414	-46,617,788
TIR [%]	3.9%	5.4%
Periodo de Recuperación [años]	19.04	16.07
ROI [%]	-59%	-42%
LCOE [\$/kWh]	0.1238	0.1135

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 13 se muestran los parámetros financieros de salida de las dos tecnologías termosolares. Para receptor central obtuvo un VAN de -74,151,414 y una TIR de 3.9%. Para colector cilindros parabólicos obtuvo un VAN de -46,617,788 y una TIR de 5.4%.

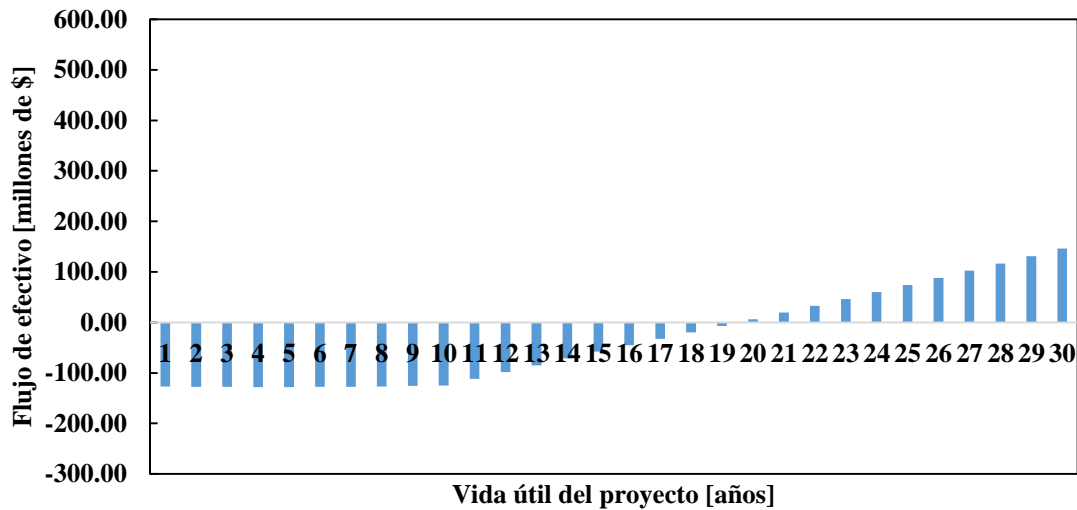


Ilustración 41. Flujo de efectivo con financiamiento y considerando el valor del terreno de receptor central

Fuente: Elaboración Propia

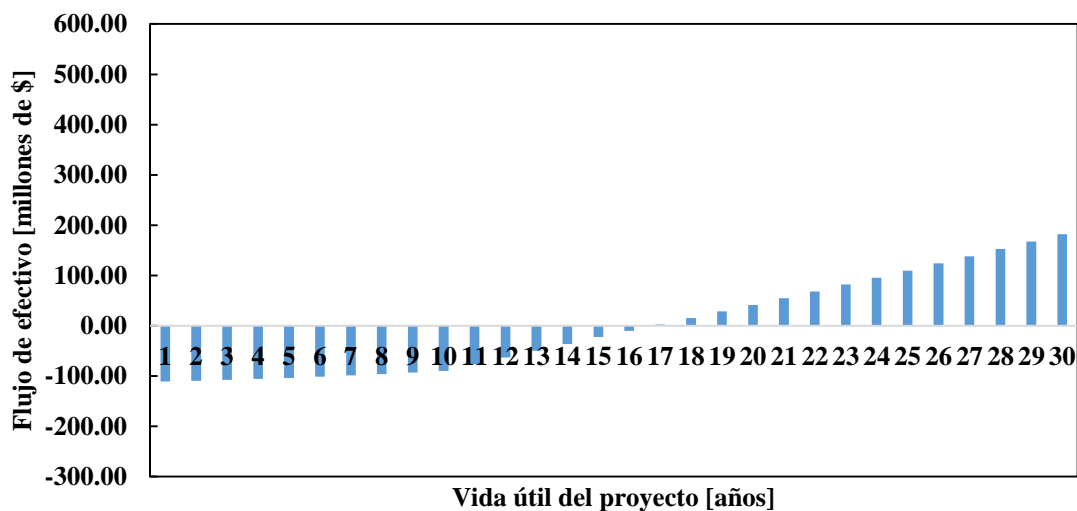


Ilustración 42. Flujo de efectivo con financiamiento y considerando el valor del terreno de colector cilindro parabólico

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 41 y 42 se muestran el flujo de efectivo de receptor central y colector cilindro parabólico respectivamente. La tecnología de receptor central en este escenario tiene su periodo de retorno en el año 19 y colector cilindro parabólico en año 16.

5.5. ANÁLISIS AMBIENTAL

Las centrales termosolares CSP generan un impacto ambiental positivo ya que no generan emisiones de gases de efecto invernadero en operación. Sin embargo, aunque en la producción de energía no se tiene un impacto negativo durante la extracción de la materia prima para fabricarlo hasta su procesamiento, el transporte y el proceso de fabricación existen emisiones de CO₂. Debido a esto existe una huella de carbono asociada de 2.1 gramos de CO₂ por cada kWh solar térmico producido, y en el caso de las dos tecnologías de CSP evaluadas en la presente investigación se calcularon emisiones de 295 toneladas de CO₂.

También pueden generar un impacto negativo por la zona donde se construirán las centrales ya que la ubicación es en Nacaome, Valle. La zona sur de Honduras está en la ruta migratoria de aves, ya que esta zona sirve como área de descanso por las características de la zona sur de Honduras.

En el factor ambiental también se toma en cuenta las cantidades de agua necesarias que ocuparan los dos sistemas colector cilindro parabólico y receptor central. El agua es utilizada para limpieza y para el enfriamiento de las centrales ya que se trabaja en altas temperaturas. En el sistema de colector cilindros parabólicos se utiliza 35,069 m³ de agua al año y para sistema de receptor central se utiliza 45,212 m³ de agua al año.

5.6. LIMITACIONES

En la presente investigación se presentaron ciertas limitaciones al momento de recolección de datos y de los resultados.

1. En la elaboración del análisis financiero, se utilizó como tarifa eléctrica el valor de venta de energía solar fotovoltaica en el país. Honduras actualmente no contiene valores de venta de energía termosolar, ya que en el país no se utiliza la energía termosolar en la generación de energía eléctrica.
2. Falta de información específica sobre las tecnologías termosolares CSP. Ya que no dan valores LCOE, costo capital y de costos de O&M para cada tecnología en específica solo dan valores en general para toda la tecnología termosolar CSP.
3. Los costó de terreno no son exactos, ya que para determinar cuánto sería el costo del terreno se tuvieron que realizar varias cotizaciones del área para poder calcular un estimado del precio.

VI. CONCLUSIONES

Se ha realizado una comparación de una central termosolar de colector cilindros parabólicos con una central termosolar de receptor central ambas con almacenamiento térmico en Nacaome, Valle, Honduras. Ambas centrales cuentan con una potencia de 40MW y un almacenamiento térmico de 10 horas. Para realizar dicha comparación se ha realizado un análisis técnico, económico y ambiental. La conclusión general es la siguiente:

- La comparación nos demostró que una central termosolar con tecnología de colector cilindros parabólicos es más factible que la central termosolar con tecnología de receptor central. Basándonos los análisis técnico y económico se puede ver que la central de receptor central genera más energía eléctrica que la central de colector cilindros parabólicos, pero los costos de la tecnología de receptor central son mayores que los costos de la tecnología de colector cilindros parabólicos. Debido a esto el LCOE de la tecnología de colector cilindros parabólicos sale menor que el LCOE de tecnología de receptor central.

Las conclusiones ligadas a los objetivos específicos de esta investigación son las siguientes:

- La cantidad de terreno necesario para la central termosolar de receptor central es de 385 manzanas de terreno y para la central termosolar de colector cilindros parabólicos es de 165 manzanas de terreno.
- Se muestra que la central termosolar de receptor central tiene una generación total durante los 30 años de su vida útil de 4,198.967 GWh y a central termosolar de colector cilindros parabólicos tiene una generación de 4,154.264 GWh.
- La central termosolar de receptor central presenta un valor de inversión inicial sin considerar el terreno de \$174,961,910.06 y considerando el terreno de \$179,694,955.00. La central termosolar de colector cilindros parabólicos presenta un valor de inversión inicial sin considerar el terreno de \$158,099,792.49 y considerando el terreno de \$ 160,144,170.54. El costo de O&M de las dos centrales es de \$2,640,000 al año.

- Los valores de LCOE, VAN y TIR de las dos centrales termosolares son los siguientes:

Tabla 14. Valores de LCOE, VAN y TIR de las dos centrales termosolares

Tecnología	Colector Cilindros Parabólicos			Receptor Central		
	LCOE	VAN	TIR	LCOE	VAN	TIR
Sin financiamiento y sin considerar el terreno	0.0718	9,159,633	10.3%	0.0731	-12,341,977	9.1%
Sin financiamiento y considerando el terreno	0.0723	1,458,480	10.1%	0.0778	-18,483,105	8.6%
Con financiamiento y sin considerar el terreno	0.1124	-43,783,912	5.6%	0.1206	-66,058,749	4.3%
Con financiamiento y considerando el terreno	0.1135	-46,617,788	5.4%	0.1238	-74,151,414	3.9%

Fuente: Elaboración Propia

- Las centrales termosolares generan un impacto positivo en el medio ambiente ya que en su etapa de operación no emite gases de efecto de invernadero. Este tipo de centrales pueden generar un impacto ambiental negativo si no se hace un estudio medio ambiental en el lugar exacto donde construirá la central, ya que si no hace un estudio éstas pueden ser construidas en zonas de descanso en las rutas migratorias de las aves.

VII. RECOMENDACIONES

- Conociendo la cantidad de terreno necesario para cada tecnología, se recomienda utilizar la tecnología de colector cilindros parabólicos. Es así que una menor cantidad de terreno significa una reducción en los costos de inversión inicial.
- Después de realizar las simulaciones en SAM se obtuvo la energía eléctrica generada para los dos sistemas. Aunque la tecnología de receptor central generó una mayor cantidad de energía eléctrica, se recomienda utilizar la tecnología de colector cilindros parabólicos ya que se demostró que los parámetros de salida del análisis financiero resultan más factibles en esta tecnología.
- Luego de calcular la inversión inicial para las dos tecnologías, se recomienda utilizar la tecnología de colector cilindros parabólicos. Presento un valor inversión inicial menor comparado al de la tecnología de receptor central.
- Considerando los valores del LCOE, el VAN y la TIR, se recomienda que si se llega a implementar una central termosolar en Honduras sea con tecnología de colector cilindros parabólicos.
- Las centrales termosolares no provocan un impacto ambiental negativo en su etapa de operación, pero en su etapa de construcción genera emisiones de CO₂. Se recomienda construirlas en lugares despejados sin población, con poca vegetación y que no afecte la fauna local.

La mayor limitante de la investigación es que no existe mucha información específica para cada tecnología CSP, solo hay información en general acerca de las tecnologías ya que no dan valores de LCOE, de costo capital y de costos de O&M para cada tecnología en específico. Otra limitante que existió, es que actualmente en el país no hay valores de venta de energía termosolar por lo tanto se tuvo que utilizar precios de la energía solar fotovoltaica. Los costos de terreno no son exactos, ya que se tuvo que realizar una serie de cotizaciones para poder tener un precio.

Se espera que esta investigación sirva para presentar una idea más clara de la factibilidad de las centrales termosolares en Honduras. También que sea una pauta por si llegan a implementar estas tecnologías en país.

VIII. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN

Esta comparación tecno económica de una central termosolar de colector cilindros parabólicos con una central termosolar de receptor central con almacenamiento térmico, permita a toda aquella empresa o persona interesada en evaluar la rentabilidad e implementación de una central termosolar en el país tenga una base de que tecnología sería más rentable.

IX. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL / TRABAJO FUTURO

En esta investigación se desarrolló una comparación tecno económica de una central termosolar de colector cilindros parabólicos con una central termosolar de receptor central. Una segunda etapa sería una comparación tecno económica de una central termosolar de colector cilindros parabólicos con una central termosolar de colector lineal Fresnel o una central termosolar de discos parabólicos. De esta manera se podría comparar sus valores de energía eléctrica generada, LCOE, VAN y TIR. También se podría aumentar su almacenamiento térmico.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, J. (2019). *Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia y HSP*. Obtenido de [www.sfe-solar.com: https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/](https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/)
- Aramendia, I. (28 de Septiembre de 2014). *ANÁLISIS FLUIDO-DINÁMICO DE COPA VOLUMÉTRICA PARA RECEPTOR CENTRAL SOLAR*. Obtenido de <http://inigoaramendia.blogspot.com/2014/10/analisis-fluido-dinamico-de-copa.html>
- Arquitectura en acero. (2020). *Complejo Solar Atacama 1*. Obtenido de [www.arquitecturaenacero.org: http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/complejo-solar-atacama-1#:~:text=Atacama%20es%20la%20planta,fotovoltaica%20y%20una%20planta%20termosolar.&text=Por%20su%20parte%2C%20la%20planta,un%20%C3%A1rea%20](http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/complejo-solar-atacama-1#:~:text=Atacama%20es%20la%20planta,fotovoltaica%20y%20una%20planta%20termosolar.&text=Por%20su%20parte%2C%20la%20planta,un%20%C3%A1rea%20)
- Bueso, G. (2011). *ANÁLISIS DE CICLO DE*. Leganes.
- Caminero Ocaña, V. (Mayo de 2014). *ANÁLISIS ECONÓMICO DE VIABILIDAD DE UNA PLANTA TERMO-SOLAR*.
- Carrera, V. (2019). *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*. Lima.
- Casanova, V. (28 de Junio de 2012). *¿Qué es el Espectro Electromagnético?* Obtenido de [www.astrofisicayfisica.com: https://www.astrofisicayfisica.com/2012/06/que-es-el-espectro-electromagnetico.html](https://www.astrofisicayfisica.com/2012/06/que-es-el-espectro-electromagnetico.html)
- Chomali, V. (8 de Marzo de 2017). *Espectro Electromagnético*. Obtenido de [unmundointelectualblog.wordpress.com: https://unmundointelectualblog.wordpress.com/2017/03/08/espectro-electromagnetico/](https://unmundointelectualblog.wordpress.com/2017/03/08/espectro-electromagnetico/)
- Corvo, H. (2019). *Inversión inicial en una empresa: estructura y ejemplo*. Obtenido de [www.lifeder.com: https://www.lifeder.com/inversion-inicial/](https://www.lifeder.com/inversion-inicial/)

- Delgado, R. (11 de Mayo de 2018). *Centrales termosolares, tipos y posicionamiento en España*. Obtenido de <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/centrales-termosolares-en-espana/>
- Ellena, S., & Chauveau, P. (s.f.). *Tecnologías de Almacenamiento de Energía y Factibilidad en Chile*. Obtenido de <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/almacena/index.html>
- ENERGIAS RENOVABLES. (5 de Julio de 2012). *¿Cómo está la termosolar en los Estados Unidos?* Obtenido de www.energias-renovables.com: <https://www.energias-renovables.com/termosolar/como-esta-la-termosolar-en-los>
- ENERGIAS RENOVABLES. (4 de Noviembre de 2015). *España sigue liderando la carrera termosolar tras un trienio de moratoria renovable*. Obtenido de www.energias-renovables.com: <https://www.energias-renovables.com/termosolar/espana-sigue-liderando-la-carrera-termosolar-tras-20151104>
- ENERGIAS RENOVABLES. (29 de Enero de 2020). *La torre más alta del mundo en una central solar ya está terminada*. Obtenido de www.energias-renovables.com: <https://www.energias-renovables.com/termosolar/la-torre-mas-alta-del-mundo-para-20200129>
- ENERGIAS RENOVABLES. (21 de Enero de 2020). *Los buenos números de la termosolar en 2019 refuerzan la importancia de esta tecnología*. Obtenido de www.energias-renovables.com: <https://www.energias-renovables.com/termosolar/los-buenos-numeros-de-la-termosolar-en-20200121#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20termosolar%20volvi%C3%B3%20a,de%20los%20%C3%BAltimos%205%20a%C3%B1os.&text=Espa%C3%B1a%20cuenta%20actualmente%20con%2050%20centrales>
- Fuentes, D. (2012). *Estudio de las Diferentes Tipologías de Receptores Volumétricos en Centrales Termosolares*.
- Gomez, A. (2019). *Análisis de la tecnología solar térmica con almacenamiento y comparativa con otras tecnologías*. Alcala.
- Grosu, Y. (2020). *TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA PARA APLICACIONES DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD*. Obtenido de

- cicenergigune.com: <https://cicenergigune.com/es/tecnologias-almacenamiento-energia-termica-aplicaciones-generacion-electricidad>
- HelioEsfera. (10 de 10 de 2020). *LA RADIACIÓN SOLAR*. Obtenido de www.helioesfera.com: <https://www.helioesfera.com/la-radiacion-solar/#>
- HELIONOTICIAS. (25 de Mayo de 2013). *Fluidos de transmisión térmica: la clave para el éxito termosolar*. Obtenido de <http://helionoticias.es/fluidos-de-transmision-termica-la-clave-para-el-exito-termsolar/>
- HISOUR. (2018). *CONSTANTE SOLAR*. Obtenido de www.hisour.com: <https://www.hisour.com/es/solar-constant-39498/>
- IDEAM. (2014). *RADIACIÓN SOLAR*. Obtenido de www.ideam.gov.co: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- IRENA. (2020). *Agencia Internacional de Energía Renovable*. Obtenido de www.protermsolar.com: <https://www.protermsolar.com/los-costes-de-inversion-de-la-energia-termsolar-disminuyen-casi-a-la-mitad/>
- Landaure, J. C. (28 de Junio de 2016). *Costos de inversión y de operación en la formulación de un proyecto*. Obtenido de www.esan.edu.pe: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/06/costos-de-inversion-y-de-operacion-en-la-formulacion-de-un-proyecto/#:~:text=Los%20costos%20de%20operaci%C3%B3n%20y,en%20nuevos%20costos%20de%20inversi%C3%B3n>.
- Macias, S. (2017). *El costo de operación y mantenimiento son los costos involucrados para la operación del proyecto como compra de materiales y contratación de empleados. Los costos de mantenimiento son los involucrados en el mantenimiento de maquinaria utilizada en el proy*. Madrid.
- Martel, L. d. (2020). *ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO DE UNA CENTRAL TERMOSOLAR DE RECEPTOR CENTRAL CON ALMACENAMIENTO TÉRMICO DE ENERGÍA EN EL SUR DE HONDURAS*. San Pedro Sula.
- Martinez, J. A. (23 de Junio de 2014). *Introducción y principios de funcionamiento de la energía termosolar*. Obtenido de www.cuienciasambientales.com:

<https://www.cienciasambientales.com/es/noticias-ambientales/introduccion-y-principios-de-funcionamiento-de-la-energia-termsolar-9139#:~:text=Las%20primeras%20centrales%20experimentales%2C%20conocidas,de%20torre%20comercial%20del%20mundo.>

Planas, O. (29 de Marzo de 2019). Obtenido de <https://solar-energia.net/energia-solar-termica/energia-termsolar#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20termsolar%20es%20una,le%20suele%20llamar%20energ%C3%ADa%20termoel%C3%A9ctrica.>

Planas, O. (4 de Enero de 2019). Obtenido de <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar/irradiacion-solar#:~:text=La%20irradiaci%C3%B3n%20solar%20es%20la,el%20Sol%20llega%20la%20Tierra.>

Planas, O. (29 de Marzo de 2019). *¿QUE ES LA ENERGIA TERMOSOLAR?* Obtenido de solar-energia.net: <https://solar-energia.net/energia-solar-termica/energia-termsolar#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20termsolar%20es%20una,le%20suele%20llamar%20energ%C3%ADa%20termoel%C3%A9ctrica.>

Pons, C. (16 de Marzo de 2020). *Tecnología cilindro parabólico*. Obtenido de themorningstarg2.wordpress.com: <https://themorningstarg2.wordpress.com/2012/03/16/tecnologia-cilindro-parabolico/>

PROENERGIZA. (2020). *Central Térmica Solar*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/proenergiza/energias-renovables/energia-solar/central-termica-solar>

PROTERMOSOLAR. (2020). *Centrales en operación*. Obtenido de www.protermsolar.com: <https://www.protermsolar.com/proyectos-termsolares/proyectos-en-el-exterior/>

PROTERMOSOLAR. (2020). *Centrales Termosolares Situación a nivel mundial*. Obtenido de www.protermsolar.com: <https://www.protermsolar.com/la-energia-termsolar/situacion-internacional/>

- PROTERMOSOLAR. (2020). *Mapa de proyectos en España*. Obtenido de [www.protermosolar.com: https://www.protermosolar.com/terminosolares/mapa-de-proyectos-en-espana-4/](https://www.protermosolar.com/terminosolares/mapa-de-proyectos-en-espana-4/)
- Ragheb, M. (2017). Economía de la generación de energía eólica. *Science Direct*, 537-555.
- reve. (5 de Octubre de 2012). *Puerto Errado 2: inaugurada la termosolar con tecnología Fresnel más grande del mundo*. Obtenido de [www.evwind.com: https://www.evwind.com/2012/10/05/puerto-errado-2-inaugurada-la-terminosolar-con-tecnologia-fresnel-mas-grande-del-mundo/](https://www.evwind.com/2012/10/05/puerto-errado-2-inaugurada-la-terminosolar-con-tecnologia-fresnel-mas-grande-del-mundo/)
- reve. (6 de Julio de 2020). *La potencia instalada de termosolar creció un 11% en 2019 a 6,2 GW*. Obtenido de [www.evwind.com: https://2020/07/06/la-potencia-instalada-de-terminosolar-crecio-un-11-en-2019-a-62-gw/#:~:text=La%20capacidad%20mundial%20de%20la,600%20MW%20de%20nueva%20potencia.&text=Al%20final%20del%20a%C3%B1o%2C%20las,sistema%20Fresnel%20de%2014%20MW](https://2020/07/06/la-potencia-instalada-de-terminosolar-crecio-un-11-en-2019-a-62-gw/#:~:text=La%20capacidad%20mundial%20de%20la,600%20MW%20de%20nueva%20potencia.&text=Al%20final%20del%20a%C3%B1o%2C%20las,sistema%20Fresnel%20de%2014%20MW)
- Rincon, D. (Julio de 2019). *ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UNA PLANTA TERMOSOLAR DE TORRE CENTRAL*.
- Roca, J. A. (13 de Junio de 2016). *Las 10 plantas termosolares más grandes del mundo: EEUU y España se reparten el 90% del pastel*. Obtenido de [elperiodicodelaenergia.com: https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-plantas-terminosolares-mas-grandes-del-mundo-eeuu-y-espana-se-reparten-el-90-del-pastel/](https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-plantas-terminosolares-mas-grandes-del-mundo-eeuu-y-espana-se-reparten-el-90-del-pastel/)
- Rudnick, H., Charlín, D., Heisig, F., & Mohr, A. (2016). *Costo de abatimiento de nueva energía (LACE) y costo de desarrollo de la energía (LCOE): La nueva forma de determinar la entrada de nuevas tecnologías al sistema*. Santiago.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (13 de Agosto de 2018). *Impacto ambiental y tipos de impacto ambiental*. Obtenido de [www.gob.mx: https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/impacto-ambiental-y-tipos-de-impacto-ambiental](https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/impacto-ambiental-y-tipos-de-impacto-ambiental)
- Secretaria de Recursos Naturales y Ambientales. (1 de Agosto de 2019). *Tabla de categorizacion ambiental*. pág. 23.

- Serrano, M. (2015). *Análisis termoeconómico de una central termosolar de captadores cilindro-parabólicos con sistema de almacenamiento de energía térmica*.
- Sociedad Nacional de Petróleo y Energía. (2020). *Potencia Instalada, Efectiva y Firme*.
- SOLARGIS. (2020). *Mapas de recursos solares de Honduras*. Obtenido de solargis.com: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/honduras>
- SOLARGIS. (2020). *Mapas de recursos solares de Latin America and Caribbean*. Obtenido de solargis.com: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download>
- SOLARGIS. (2020). *Mapas de recursos solares de World*. Obtenido de solargis.com: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/world>
- Solari, M. (2019). *FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SOLAR TÉRMICA*. Santiago.
- SOPELIA. (21 de Noviembre de 2017). *SOLAR TERMICA HONDURAS*. Obtenido de www.energiasolar.lat: <http://www.energiasolar.lat/solar-termica-honduras/#:~:text=En%20Honduras%2C%20Choluteca%20y%20Valle,de%208%2C4%20horas%20sol.&text=Su%20rendimiento%20duplica%20al%20de,expresi%C3%B3n%20de%20la%20generaci%C3%B3n%20distribuida>.
- SOTAVENTO. (2020). *Esquema divulgativo del funcionamiento de un concentrador solar de discos parabólicos*. Obtenido de www.sotaventogalicia.com: <https://www.sotaventogalicia.com/zona-interactiva/energias-renovables/solar/>
- TecnoBlog San Martín. (8 de Febrero de 2011). *Central solar mediante cilindros parabólicos*. Obtenido de tecnoblogsanmartin.wordpress.com: <https://tecnoblogsanmartin.wordpress.com/2011/02/08/central-solar-mediante-cilindros-parabolicos/>
- Villamizar, A., Olmedo, C., & Rudnick, H. (2020). *Estado del arte y perspectivas de la tecnología CSP y de sistemas de almacenamiento en baterías*. Obtenido de <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno17/csp/index.html>
- Westreicher, G. (s.f.). *Financiación o financiamiento*. Obtenido de economipedia.com: <https://economipedia.com/definiciones/financiacion-o-financiamiento.html>

ANEXOS

Anexo 1. Centrales Termosolares en España

Año puesta en marcha	Propietario	Operador	Nombre	Población	Provincia	Potencia (MWe)	Tecnología	Almacenamiento (número de horas a potencia nominal)
2007	Atlantica	Abengoa	PS-10	Sanlúcar la Mayor	Sevilla	11	Torre con vapor saturado	1
2008	Cubico Sustainable Investments Limited	Cobra	ANDASOL I	Aldeire -La Calahorra	Granada	50	CCP	7,5
2009	Atlantica	Abengoa	PS-20	Sanlúcar la Mayor	Sevilla	20	Torre con vapor saturado	1
2009	Contour Global	Acciona	Planta termoeléctrica de La Risca	Alvarado	Badajoz	50	CCP	n/a
2009	Cubico Sustainable Investments Limited	Cobra	ANDASOL II	Aldeire -La Calahorra	Granada	50	CCP	7,5
2009	Q-Energy	Ence	Termollano	Puertollano	Ciudad Real	50	CCP	n/a
2009	Saeta Yield	Cobra	Planta termosolar EXTRESOL I	Torre de Miguel Sesmero	Badajoz	50	CCP	7,5
2009	Tubosol PE2, s.l.	Tubosol	Puerto Errado I	Calasparra	Murcia	1,4	Fresnel	n/a
2010	Atlantica	Abengoa	SOLNOVA I	Sanlúcar la Mayor	Sevilla	50	CCP	n/a
2010	Atlantica	Abengoa	SOLNOVA III	Sanlúcar la Mayor	Sevilla	50	CCP	n/a
2010	Atlantica	Abengoa	SOLNOVA IV	Sanlúcar la Mayor	Sevilla	50	CCP	n/a
2010	COBRA	Cobra	MANCHASOL I	Alcazar de San Juan	Ciudad Real	50	CCP	7,5
2010	Contour Global	Contour Global	Planta termoeléctrica de Majadas	Majadas de Tietar	Cáceres	50	CCP	n/a

2010	Contour Global	Guzman Energy	Planta termoeléctrica de Palma del Río II	Palma del Río	Córdoba	50	CCP	n/a
2010	Renovables SAMCA, S.A.	SAMCA	Central Solar termoeléctrica La Florida	La Garrovilla	Badajoz	50	CCP	7,5
2010	Renovables SAMCA, S.A.	SAMCA	Central Solar termoeléctrica La Dehesa	La Garrovilla	Badajoz	50	CCP	7,5
2010	Saeta Yield	Cobra	Planta termosolar EXTRESOL II	Torre de Miguel Sesmero	Badajoz	50	CCP	7,5
2010	Q-Energy	Torresol O&M	Gemasolar	Fuentes de Andalucía	Sevilla	19,9	Torre con sales fundidas	15
2011	Atlantica	Abengoa	HELIOENERGY I	Écija	Sevilla	50	CCP	n/a
2011	Contour Global	Guzman Energy	Planta termoeléctrica de Palma del Río I	Palma del Río	Córdoba	50	CCP	n/a
2011	Marquesado Solar, s.l.	Marquesado Solar	ANDASOL III	Aldeire -La Calahorra (Andalucía)	Granada	50	CCP	8
2011	Plenium Partners	Soleval	LEBRIJA I	Lebrija	Sevilla	50	CCP	n/a
2011	Saeta Yield	Cobra	MANCHASOL II	Alcázar de San Juan	Ciudad Real	50	CCP	7,5
2011	Q-Energy	Torresol O&M	ARCOSOL-50	San José del Valle	Cádiz	50	CCP	7,5
2011	Q-Energy	Torresol O&M	TERMOSOL-50	San José del Valle	Cádiz	50	CCP	7,5
2012	Q-Energy	ORMATS	Central termosolar La Africana	Posadas	Córdoba	50	CCP	7,5
2012	Atlantica	Abengoa	HELIOENERGY II	Écija	Sevilla	50	CCP	n/a
2012	Atlantica	Abengoa	HELIOS I	Puerto Lápice	Ciudad Real	50	CCP	n/a
2012	Atlantica	Abengoa	HELIOS II	Puerto Lápice	Ciudad Real	50	CCP	n/a
2012	Atlantica	Abengoa	SOLABEN II	Logrosán	Cáceres	50	CCP	n/a

2012	Atlantica	Abengoa	SOLABEN III	Logrosán	Cáceres	50	CCP	n/a
2012	Atlantica	Abengoa	Solacor I	El Carpio	Córdoba	50	CCP	n/a
2012	Atlantica	Abengoa	Solacor II	El Carpio	Córdoba	50	CCP	n/a
2012	Celeo Concesiones e Inversiones, s.l.u. (Elecnor)	Elecnor	Central Solar termoeléctrica ASTE 1A	Alcázar de San Juan	Ciudad Real	50	CCP	n/a
2012	Celeo Concesiones e Inversiones, s.l.u. (Elecnor)	Elecnor	Central solar termoeléctrica ASTE 1B	Alcázar de San Juan	Ciudad Real	50	CCP	n/a
2012	Celeo Concesiones e Inversiones, s.l.u. (Elecnor)	Elecnor	Central solar termoeléctrica ASTEXOL II	Olivenza	Badajoz	50	CCP	n/a
2012	Contour Global	Contour Global	Planta Termoeléctrica de Consol Orellana	Orellana	Badajoz	50	CCP	n/a
2012	Plenium Partners	FCC	Termosolar SoluzGuzman	Palma del Río	Córdoba	50	CCP	n/a
2012	Saeta Yield	Cobra	Planta termosolar EXTRESOL III	Torre de Miguel Sesmero	Badajoz	50	CCP	7,5
2012	Saeta Yield	Saeta Yield	TERMOSOL I	Navalvillar de Pela	Badajoz	50	CCP	9
2012	Termosolar Borges, s.l.	Comsa Renovables	Termosolar Borges	Borges Blanques	Lerida	22,5	CCP + Hibridación con Biomasa	n/a
2012	T-Solar	UTE ACCIONA	Planta termosolar de Morón	Morón de la Frontera	Sevilla	50	CCP	n/a
2012	T-Solar	UTE (Acciona - Idom)	Planta termosolar de Olivenza I	Olivenza	Badajoz	50	CCP	n/a
2012	Tubosol PE2, s.l.	Tubosol	Puerto Errado II	Calasparra	Murcia	30	Fresnel	n/a
2013	Arenales Solar PS s.l.	Dominion-Exera	Arenales	Morón de la Frontera	Sevilla	50	CCP	7
2013	Atlantica	Abengoa	SOLABEN I	Logrosán	Cáceres	50	CCP	n/a
2013	Atlantica	Abengoa	SOLABEN VI	Logrosán	Cáceres	50	CCP	n/a

2013	Plenium Partners	FCC	Central solar termoeléctrica Enerstar Villena	Villena	Alicante	50	CCP	n/a
2013	Saeta Yield	Saeta Yield	TERMOSOL II	Navalvillar de Pela	Badajoz	50	CCP	9
2013	Saeta Yield	Cobra	Casablanca	Talarrubias	Badajoz	50	CCP	7,5
	TOTAL: 50					2300		

Anexo 2. Análisis financiero receptor central sin terreno

Modelado	año	año	año	año	año	año
Año	0	1	2	3	4	5
Generación [kWh]		144,037,000.00	143,751,000.00	143,466,000.00	143,181,000.00	142,896,000.00
Ingresos						
Tarifa de energía eléctrica [\$/kW]	0.14	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Total de ingresos por venta de energía [€]		22,340,138.70	22,599,813.47	22,862,989.24	23,129,551.93	23,399,543.04
Egresos						
Costo O&M [€]		2,679,600.00	2,719,794.00	2,760,590.91	2,801,999.77	2,844,029.77
Seguros [€]	1,154,319.86	1,171,634.66	1,189,209.18	1,207,047.31	1,225,153.02	1,243,530.32
Total de costos [€]		3,851,234.66	3,909,003.18	3,967,638.22	4,027,152.80	4,087,560.09
Análisis Económico sin Financiamiento						
Utilidad Bruta del proyecto [€]		18,488,904.04	18,690,810.29	18,895,351.01	19,102,399.14	19,311,982.95
Impuesto Sobre la Renta [€]		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad del Proyecto [€]		18,488,904.04	18,690,810.29	18,895,351.01	19,102,399.14	19,311,982.95
Flujos de efectivo anual [€]	-174,961,910.06	18,488,904.04	18,690,810.29	18,895,351.01	19,102,399.14	19,311,982.95
Flujos de efectivo acumulado [€]	-174,961,910.06	-156,473,006.01	-137,782,195.73	-118,886,844.71	-99,784,445.58	-80,472,462.63
Flujo de efectivo descontado [€]	-174,961,910.06	16,808,094.58	15,446,950.65	14,196,356.89	13,047,195.64	11,991,222.00
Flujos de efectivo descontado acumulado [€]	-174,961,910.06	-158,153,815.47	-142,706,864.82	-128,510,507.94	-115,463,312.30	-103,472,090.29
Último año acumulado negativo [años]		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Porción del año siguiente [años]		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de Capital distribuido a 30 años [€]	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67
LCOE [€/kWh]		0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
calculo para el LCOE ponderado [€]		9,683,298.33	9,741,066.85	9,799,701.89	9,859,216.47	9,919,623.76
Análisis económico con financiamiento						
Utilidad bruta del proyecto [€]		18,488,904.04	18,690,810.29	18,895,351.01	19,102,399.14	19,311,982.95
Interés [€]		10,410,233.65	9,708,503.69	8,947,126.68	8,121,032.63	7,224,720.58
Cuota nivelada [€]		18,665,880.24	18,665,880.24	18,665,880.24	18,665,880.24	18,665,880.24
Pago a Capital [€]		8,255,646.59	8,957,376.55	9,718,753.55	10,544,847.61	11,441,159.65
Balance [€]	-122,473,337.04	-114,217,690.45	-105,260,313.91	-95,541,560.35	-84,996,712.75	-73,555,553.10
Utilidad antes de impuestos [€]		8,078,670.39	8,982,306.60	9,948,224.33	10,981,366.51	12,087,262.36
Impuesto Sobre la Renta [€]		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad del Proyecto [€]		8,078,670.39	8,982,306.60	9,948,224.33	10,981,366.51	12,087,262.36
Flujos de efectivo anual [€]	-122,473,337.04	-176,976.19	24,930.05	229,470.78	436,518.90	646,102.71
Flujos de efectivo acumulado [€]	-122,473,337.04	-122,650,313.23	-122,625,383.18	-122,395,912.40	-121,959,393.50	-121,313,290.79
Flujo de efectivo descontado [€]	-122,473,337.04	-162,437.99	21,002.39	177,437.61	309,809.06	420,886.88
Flujos de efectivo descontado acumulado [€]	-122,473,337.04	-122,635,775.03	-122,614,772.64	-122,437,335.03	-122,127,525.97	-121,706,639.09
Último año acumulado negativo [años]		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Porción del año siguiente [años]		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de Capital distribuido a 30 años [€]	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67
LCOE [€/kWh]	0.00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
calculo para el LCOE ponderado [€]	0.00	28,349,178.56	28,406,947.08	28,465,582.13	28,525,096.70	28,585,503.99

año	año	año	año	año	año	año	año	año	año
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
142,613,000.00	142,329,000.00	142,047,000.00	141,765,000.00	141,483,000.00	141,202,000.00	140,922,000.00	140,642,000.00	140,363,000.00	140,084,000.00
0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17
23,673,336.51	23,950,483.67	24,231,532.49	24,516,194.74	24,804,514.69	22,199,072.43	22,457,573.01	22,719,400.22	22,984,758.56	23,253,529.99
2,886,690.22	2,929,990.57	2,973,940.43	3,018,549.54	3,063,827.78	3,109,785.19	3,156,431.97	3,203,778.45	3,251,835.13	3,300,612.66
1,262,183.27	1,281,116.02	1,300,332.76	1,319,837.76	1,339,635.32	1,359,729.85	1,380,125.80	1,400,827.69	1,421,840.10	1,443,167.70
4,148,873.49	4,211,106.59	4,274,273.19	4,338,387.29	4,403,463.10	4,469,515.05	4,536,557.77	4,604,606.14	4,673,675.23	4,743,780.36
19,524,463.02	19,739,377.08	19,957,259.30	20,177,807.45	20,401,051.59	17,729,557.38	17,921,015.24	18,114,794.08	18,311,083.33	18,509,749.63
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4,432,389.35	4,480,253.81	4,528,698.52	4,577,770.83	4,627,437.41
19,524,463.02	19,739,377.08	19,957,259.30	20,177,807.45	20,401,051.59	13,297,168.04	13,440,761.43	13,586,095.56	13,733,312.50	13,882,312.22
19,524,463.02	19,739,377.08	19,957,259.30	20,177,807.45	20,401,051.59	13,297,168.04	13,440,761.43	13,586,095.56	13,733,312.50	13,882,312.22
-60,947,999.61	-41,208,622.53	-21,251,363.23	-1,073,555.79	19,327,495.80	32,624,663.84	46,065,425.27	59,651,520.83	73,384,833.33	87,267,145.55
11,021,050.37	10,129,421.60	9,310,208.75	8,557,360.08	7,865,488.54	4,660,576.28	4,282,640.80	3,935,407.94	3,616,410.41	3,323,315.17
-92,451,039.92	-82,321,618.32	-73,011,409.57	-64,454,049.49	-56,588,560.95	-51,927,984.68	-47,645,343.87	-43,709,935.93	-40,093,525.52	-36,770,210.35
0.00	0.00	0.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67
0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08
9,980,937.16	10,043,170.26	10,106,336.86	10,170,450.96	10,235,526.77	10,301,578.71	10,368,621.44	10,436,669.81	10,505,738.90	10,575,844.03
19,524,463.02	19,739,377.08	19,957,259.30	20,177,807.45	20,401,051.59	17,729,557.38	17,921,015.24	18,114,794.08	18,311,083.33	18,509,749.63
6,252,222.01	5,197,061.06	4,052,211.43	2,810,049.59	1,462,303.98					
18,665,880.24	18,665,880.24	18,665,880.24	18,665,880.24	18,665,880.24					
12,413,658.22	13,468,819.17	14,613,668.80	15,855,830.65	17,203,576.25					
-61,141,894.87	-47,673,075.70	-33,059,406.90	-17,203,576.25	0.00					
13,272,241.01	14,542,316.01	15,905,047.86	17,367,757.86	18,938,747.61	17,729,557.38	17,921,015.24	18,114,794.08	18,311,083.33	18,509,749.63
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4,432,389.35	4,480,253.81	4,528,698.52	4,577,770.83	4,627,437.41
13,272,241.01	14,542,316.01	15,905,047.86	17,367,757.86	18,938,747.61	13,297,168.04	13,440,761.43	13,586,095.56	13,733,312.50	13,882,312.22
858,582.79	1,073,496.84	1,291,379.06	1,511,927.21	1,735,171.35	13,297,168.04	13,440,761.43	13,586,095.56	13,733,312.50	13,882,312.22
-120,454,708.00	-119,381,211.16	-118,089,832.10	-116,577,904.89	-114,842,733.53	-101,545,565.50	-88,104,804.07	-74,518,708.51	-60,785,396.01	-46,903,083.79
513,356.15	589,128.63	650,482.87	699,013.84	736,325.81	5,179,162.97	4,805,040.56	4,458,005.66	4,136,128.46	3,837,543.30
-121,193,282.93	-120,604,154.30	-119,953,671.44	-119,254,657.60	-118,518,331.79	-113,339,168.82	-108,534,128.27	-104,076,122.61	-99,939,994.15	-96,102,450.85
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67
0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08
28,646,817.39	28,709,050.50	28,772,217.10	28,836,331.19	28,901,407.00	10,301,578.71	10,368,621.44	10,436,669.81	10,505,738.90	10,575,844.03

año	año	año	año	año	año	año	año	año	año
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
139,806,000.00	139,528,000.00	139,251,000.00	138,974,000.00	138,699,000.00	138,423,000.00	138,148,000.00	137,874,000.00	137,600,000.00	137,327,000.00
0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18
21,554,659.98	21,834,476.18	22,117,995.90	22,405,108.46	22,696,185.12	22,990,786.83	23,289,288.54	23,591,743.48	23,898,031.98	24,208,377.28
3,350,121.85	3,400,373.67	3,451,379.28	3,503,149.97	3,555,697.22	3,609,032.68	3,663,168.17	3,718,115.69	3,773,887.42	3,830,495.73
1,464,815.22	1,486,787.45	1,509,089.26	1,531,725.60	1,554,701.48	1,578,022.00	1,601,692.33	1,625,717.72	1,650,103.48	1,674,855.04
4,814,937.06	4,887,161.12	4,960,468.54	5,034,875.57	5,110,398.70	5,187,054.68	5,264,860.50	5,343,833.41	5,423,990.91	5,505,350.77
16,739,722.92	16,947,315.06	17,157,527.37	17,370,232.90	17,585,786.42	17,803,732.15	18,024,428.04	18,247,910.08	18,474,041.08	18,703,026.51
4,184,930.73	4,236,828.77	4,289,381.84	4,342,558.22	4,396,446.60	4,450,933.04	4,506,107.01	4,561,977.52	4,618,510.27	4,675,756.63
12,554,792.19	12,710,486.30	12,868,145.53	13,027,674.67	13,189,339.81	13,352,799.12	13,518,321.03	13,685,932.56	13,855,530.81	14,027,269.88
12,554,792.19	12,710,486.30	12,868,145.53	13,027,674.67	13,189,339.81	13,352,799.12	13,518,321.03	13,685,932.56	13,855,530.81	14,027,269.88
99,821,937.74	112,532,424.04	125,400,569.56	138,428,244.23	151,617,584.04	164,970,383.16	178,488,704.19	192,174,636.75	206,030,167.56	220,057,437.44
2,732,288.57	2,514,701.95	2,314,449.08	2,130,128.91	1,960,511.32	1,804,371.37	1,660,671.31	1,528,419.74	1,406,691.05	1,294,660.88
-34,037,921.78	-31,523,219.82	-29,208,770.74	-27,078,641.83	-25,118,130.51	-23,313,759.14	-21,653,087.83	-20,124,668.10	-18,717,977.05	-17,423,316.17
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67
0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
10,647,000.73	10,719,224.79	10,792,532.21	10,866,939.23	10,942,462.37	11,019,118.35	11,096,924.17	11,175,897.08	11,256,054.58	11,337,414.44
16,739,722.92	16,947,315.06	17,157,527.37	17,370,232.90	17,585,786.42	17,803,732.15	18,024,428.04	18,247,910.08	18,474,041.08	18,703,026.51
16,739,722.92	16,947,315.06	17,157,527.37	17,370,232.90	17,585,786.42	17,803,732.15	18,024,428.04	18,247,910.08	18,474,041.08	18,703,026.51
4,184,930.73	4,236,828.77	4,289,381.84	4,342,558.22	4,396,446.60	4,450,933.04	4,506,107.01	4,561,977.52	4,618,510.27	4,675,756.63
12,554,792.19	12,710,486.30	12,868,145.53	13,027,674.67	13,189,339.81	13,352,799.12	13,518,321.03	13,685,932.56	13,855,530.81	14,027,269.88
12,554,792.19	12,710,486.30	12,868,145.53	13,027,674.67	13,189,339.81	13,352,799.12	13,518,321.03	13,685,932.56	13,855,530.81	14,027,269.88
-34,348,291.60	-21,637,805.30	-8,769,659.78	4,258,014.90	17,447,354.71	30,800,153.82	44,318,474.86	58,004,407.41	71,859,938.22	85,887,208.10
3,185,471.88	2,960,050.90	2,750,589.25	2,555,932.90	2,375,080.68	2,206,990.12	2,050,801.35	1,905,671.33	1,770,800.10	1,645,478.79
-92,916,978.97	-89,956,928.08	-87,206,338.83	-84,650,405.93	-82,275,325.26	-80,068,335.13	-78,017,533.78	-76,111,862.45	-74,341,062.35	-72,695,583.56
0.00	0.00	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67
0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
10,647,000.73	10,719,224.79	10,792,532.21	10,866,939.23	10,942,462.37	11,019,118.35	11,096,924.17	11,175,897.08	11,256,054.58	11,337,414.44

año	año	año	año	año
26	27	28	29	30
137,054,000.00	136,782,000.00	136,511,000.00	136,240,000.00	135,969,000.00
0.18	0.18	0.18	0.19	0.19
24,522,655.88	24,841,097.56	25,163,759.23	25,490,511.51	25,821,404.50
3,887,953.17	3,946,272.47	4,005,466.56	4,065,548.55	4,126,531.78
1,699,977.86	1,725,477.53	1,751,359.69	1,777,630.09	1,804,294.54
5,587,931.03	5,671,750.00	5,756,826.25	5,843,178.64	5,930,826.32
18,934,724.85	19,169,347.56	19,406,932.98	19,647,332.86	19,890,578.18
4,733,681.21	4,792,336.89	4,851,733.25	4,911,833.22	4,972,644.55
14,201,043.64	14,377,010.67	14,555,199.74	14,735,499.65	14,917,933.64
14,201,043.64	14,377,010.67	14,555,199.74	14,735,499.65	14,917,933.64
234,258,481.07	248,635,491.75	263,190,691.48	277,926,191.13	292,844,124.77
1,191,545.00	1,096,645.08	1,009,306.30	928,917.18	854,925.19
-16,231,771.17	-15,135,126.09	-14,125,819.79	-13,196,902.60	-12,341,977.41
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67
0.08	0.08	0.08	0.09	0.09
11,419,994.70	11,503,813.67	11,588,889.92	11,675,242.31	11,762,889.99
18,934,724.85	19,169,347.56	19,406,932.98	19,647,332.86	19,890,578.18
18,934,724.85	19,169,347.56	19,406,932.98	19,647,332.86	19,890,578.18
4,733,681.21	4,792,336.89	4,851,733.25	4,911,833.22	4,972,644.55
14,201,043.64	14,377,010.67	14,555,199.74	14,735,499.65	14,917,933.64
14,201,043.64	14,377,010.67	14,555,199.74	14,735,499.65	14,917,933.64
100,088,251.74	114,465,262.41	129,020,462.15	143,755,961.80	158,673,895.43
1,529,016.47	1,420,801.02	1,320,248.25	1,226,803.66	1,139,965.30
-71,166,567.10	-69,745,766.07	-68,425,517.82	-67,198,714.16	-66,058,748.85
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67	5,832,063.67
0.08	0.08	0.08	0.09	0.09
11,419,994.70	11,503,813.67	11,588,889.92	11,675,242.31	11,762,889.99

Anexo 3. Análisis financiero receptor central con terreno

Modelado	año	año	año	año	año	año	año	año	año	año	año
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Generación [kWh]		143,037,000.00	142,751,000.00	142,466,000.00	142,181,000.00	141,896,000.00	141,613,000.00	141,329,000.00	141,047,000.00	140,765,000.00	140,483,000.00
Ingresos											
Tarifa de energía eléctrica [\$/kW]	0.14	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18
Total de ingresos por venta de energía [\$]		22,185,038.70	22,442,598.47	22,703,627.51	22,968,011.28	23,235,790.78	23,507,339.47	23,782,208.17	24,060,944.36	24,343,259.28	24,629,196.70
Egresos											
Costo O&M [\$]		2,679,600.00	2,719,794.00	2,760,590.91	2,801,999.77	2,844,029.77	2,886,690.22	2,929,990.57	2,973,940.43	3,018,549.54	3,063,827.78
Seguros [\$]	1,154,319.86	1,171,634.66	1,189,209.18	1,207,047.31	1,225,153.02	1,243,530.32	1,262,183.27	1,281,116.02	1,300,332.76	1,319,837.76	1,339,635.32
Total de costos [\$]		3,851,234.66	3,909,003.18	3,967,638.22	4,027,152.80	4,087,560.09	4,148,873.49	4,211,106.59	4,274,273.19	4,338,387.29	4,403,463.10
Análisis Económico sin Financiamiento											
Utilidad Bruta del proyecto [\$]		18,333,804.04	18,533,595.29	18,735,989.29	18,940,858.48	19,148,230.69	19,358,465.98	19,571,101.58	19,786,671.16	20,004,871.99	20,225,733.60
Impuesto Sobre la Renta [\$]		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad del Proyecto [\$]		18,333,804.04	18,533,595.29	18,735,989.29	18,940,858.48	19,148,230.69	19,358,465.98	19,571,101.58	19,786,671.16	20,004,871.99	20,225,733.60
Flujos de efectivo anual [\$]	-179,694,955.00	18,333,804.04	18,533,595.29	18,735,989.29	18,940,858.48	19,148,230.69	19,358,465.98	19,571,101.58	19,786,671.16	20,004,871.99	20,225,733.60
Flujos de efectivo acumulado [\$]	-179,694,955.00	-161,361,150.95	-142,827,555.67	-124,091,566.38	-105,150,707.89	-86,002,477.21	-66,644,011.23	-47,072,909.65	-27,286,238.49	-7,281,366.50	12,944,367.11
Flujo de efectivo descontado [\$]	-179,694,955.00	16,667,094.58	15,317,020.90	14,076,626.06	12,936,861.20	11,889,544.73	10,927,349.37	10,043,069.66	9,230,628.13	8,484,018.57	7,797,895.86
Flujos de efectivo decontado acumulado [\$]	-179,694,955.00	-163,027,860.41	-147,710,839.51	-133,634,213.45	-120,697,352.25	-108,807,807.52	-97,880,458.15	-87,837,388.49	-78,606,760.36	-70,122,741.80	-62,324,845.93
Ultimo año acumulado negativo [años]		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.00	0.00
Porción del año siguiente [años]		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00
Costo de Capital distribuido a 30 años [\$]	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83
LCOE [\$/kWh]		0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
calculo para el LCOE ponderado [\$]		9,841,066.49	9,898,835.01	9,957,470.06	10,016,984.63	10,077,391.92	10,138,705.32	10,200,938.43	10,264,105.03	10,328,219.12	10,393,294.93
Análisis económico con financiamiento											
Utilidad bruta del proyecto [\$]		18,333,804.04	18,533,595.29	18,735,989.29	18,940,858.48	19,148,230.69	19,358,465.98	19,571,101.58	19,786,671.16	20,004,871.99	20,225,733.60
Interés [\$]		10,691,849.82	9,971,136.76	9,189,163.09	8,340,721.66	7,420,162.71	6,421,356.24	5,337,651.23	4,161,831.29	2,886,066.65	1,501,862.02
Cuota nivelada [\$]		19,170,827.00	19,170,827.00	19,170,827.00	19,170,827.00	19,170,827.00	19,170,827.00	19,170,827.00	19,170,827.00	19,170,827.00	19,170,827.00
Pago a Capital [\$]		8,478,977.18	9,199,690.24	9,981,663.91	10,830,105.34	11,750,664.29	12,749,470.76	13,833,175.77	15,008,995.71	16,284,760.35	17,668,964.97
Balance [\$]	-125,786,468.50	-117,307,491.32	-108,107,801.09	-98,126,137.18	-87,296,031.85	-75,545,367.55	-62,795,896.80	-48,962,721.03	-33,953,725.32	-17,668,964.97	0.00
Utilidad antes de impuestos [\$]		7,641,954.22	8,562,458.53	9,546,826.20	10,600,136.82	11,728,067.98	12,937,109.74	14,233,450.35	15,624,839.88	17,118,805.34	18,723,871.58
Impuesto Sobre la Renta [\$]		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad del Proyecto [\$]		7,641,954.22	8,562,458.53	9,546,826.20	10,600,136.82	11,728,067.98	12,937,109.74	14,233,450.35	15,624,839.88	17,118,805.34	18,723,871.58
Flujos de efectivo anual [\$]	-125,786,468.50	-837,022.95	-637,231.71	-434,837.71	-229,968.51	-22,596.31	187,638.98	400,274.58	615,844.17	834,044.99	1,054,906.60
Flujos de efectivo acumulado [\$]	-125,786,468.50	-126,623,491.45	-127,260,723.16	-127,695,560.87	-127,925,529.38	-127,948,125.69	-127,760,486.71	-127,360,212.13	-126,744,367.97	-125,910,322.97	-124,855,416.37
Flujo de efectivo descontado [\$]	-125,786,468.50	-768,263.38	-536,837.58	-336,236.99	-163,214.76	-14,719.78	112,191.42	219,668.29	310,207.97	385,606.52	447,653.17
Flujos de efectivo decontado acumulado [\$]	-125,786,468.50	-126,554,731.88	-127,091,569.46	-127,427,806.45	-127,591,021.22	-127,605,741.00	-127,493,549.57	-127,273,881.29	-126,963,673.31	-126,578,066.79	-126,130,413.62
Ultimo año acumulado negativo [años]		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Porción del año siguiente [años]		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo de Capital distribuido a 30 años [\$]	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83
LCOE [\$/kWh]	0.00	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
calculo para el LCOE ponderado [\$]	0.00	29,011,893.49	29,069,662.01	29,128,297.06	29,187,811.63	29,248,218.92	29,309,532.32	29,371,765.42	29,434,932.02	29,499,046.12	29,564,121.93

año	año	año	año	año	año	año	año	año	año
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
140,202,000.00	139,922,000.00	139,642,000.00	139,363,000.00	139,084,000.00	138,806,000.00	138,528,000.00	138,251,000.00	137,974,000.00	137,699,000.00
0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16
22,041,857.43	22,298,211.29	22,557,859.57	22,821,006.30	23,087,532.94	21,400,484.48	21,677,988.05	21,959,160.45	22,243,890.47	22,532,548.86
3,109,785.19	3,156,431.97	3,203,778.45	3,251,835.13	3,300,612.66	3,350,121.85	3,400,373.67	3,451,379.28	3,503,149.97	3,555,697.22
1,359,729.85	1,380,125.80	1,400,827.69	1,421,840.10	1,443,167.70	1,464,815.22	1,486,787.45	1,509,089.26	1,531,725.60	1,554,701.48
4,469,515.05	4,536,557.77	4,604,606.14	4,673,675.23	4,743,780.36	4,814,937.06	4,887,161.12	4,960,468.54	5,034,875.57	5,110,398.70
17,572,342.38	17,761,653.51	17,953,253.43	18,147,331.07	18,343,752.59	16,585,547.42	16,790,826.93	16,998,691.91	17,209,014.91	17,422,150.16
4,393,085.60	4,440,413.38	4,488,313.36	4,536,832.77	4,585,938.15	4,146,386.85	4,197,706.73	4,249,672.98	4,302,253.73	4,355,537.54
13,179,256.79	13,321,240.14	13,464,940.07	13,610,498.30	13,757,814.44	12,439,160.56	12,593,120.20	12,749,018.93	12,906,761.18	13,066,612.62
13,179,256.79	13,321,240.14	13,464,940.07	13,610,498.30	13,757,814.44	12,439,160.56	12,593,120.20	12,749,018.93	12,906,761.18	13,066,612.62
26,123,623.89	39,444,864.03	52,909,804.10	66,520,302.40	80,278,116.84	92,717,277.41	105,310,397.60	118,059,416.54	130,966,177.72	144,032,790.34
4,619,249.10	4,244,557.64	3,900,313.51	3,584,069.59	3,293,511.39	2,707,123.76	2,491,481.70	2,293,023.12	2,110,358.59	1,942,268.71
-57,705,596.83	-53,461,039.19	-49,560,725.68	-45,976,656.09	-42,683,144.69	-39,976,020.93	-37,484,539.23	-35,191,516.12	-33,081,157.53	-31,138,888.82
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83
0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
10,459,346.88	10,526,389.60	10,594,437.97	10,663,507.06	10,733,612.19	10,804,768.90	10,876,992.95	10,950,300.37	11,024,707.40	11,100,230.53
17,572,342.38	17,761,653.51	17,953,253.43	18,147,331.07	18,343,752.59	16,585,547.42	16,790,826.93	16,998,691.91	17,209,014.91	17,422,150.16
17,572,342.38	17,761,653.51	17,953,253.43	18,147,331.07	18,343,752.59	16,585,547.42	16,790,826.93	16,998,691.91	17,209,014.91	17,422,150.16
4,393,085.60	4,440,413.38	4,488,313.36	4,536,832.77	4,585,938.15	4,146,386.85	4,197,706.73	4,249,672.98	4,302,253.73	4,355,537.54
13,179,256.79	13,321,240.14	13,464,940.07	13,610,498.30	13,757,814.44	12,439,160.56	12,593,120.20	12,749,018.93	12,906,761.18	13,066,612.62
13,179,256.79	13,321,240.14	13,464,940.07	13,610,498.30	13,757,814.44	12,439,160.56	12,593,120.20	12,749,018.93	12,906,761.18	13,066,612.62
-111,676,159.58	-98,354,919.45	-84,889,979.37	-71,279,481.07	-57,521,666.63	-45,082,506.07	-32,489,385.87	-19,740,366.94	-6,833,605.76	6,233,006.86
5,133,237.28	4,762,311.97	4,418,250.91	4,099,139.91	3,803,127.88	3,156,133.18	2,932,718.38	2,725,125.73	2,532,210.57	2,352,980.48
-120,997,176.34	-116,234,864.37	-111,816,613.46	-107,717,473.55	-103,914,345.67	-100,758,212.50	-97,825,494.12	-95,100,368.39	-92,568,157.82	-90,215,177.34
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00
5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83
0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
10,459,346.88	10,526,389.60	10,594,437.97	10,663,507.06	10,733,612.19	10,804,768.90	10,876,992.95	10,950,300.37	11,024,707.40	11,100,230.53

año	año	año	año	año	año	año	año	año	año
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
137,423,000.00	137,148,000.00	136,874,000.00	136,600,000.00	136,327,000.00	136,054,000.00	135,782,000.00	135,511,000.00	135,240,000.00	134,969,000.00
0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19
22,824,696.03	23,120,706.38	23,420,632.59	23,724,354.43	24,032,094.56	24,343,728.92	24,659,486.70	24,979,424.20	25,303,411.45	25,631,497.95
3,609,032.68	3,663,168.17	3,718,115.69	3,773,887.42	3,830,495.73	3,887,953.17	3,946,272.47	4,005,466.56	4,065,548.55	4,126,531.78
1,578,022.00	1,601,692.33	1,625,717.72	1,650,103.48	1,674,855.04	1,699,977.86	1,725,477.53	1,751,359.69	1,777,630.09	1,804,294.54
5,187,054.68	5,264,860.50	5,343,833.41	5,423,990.91	5,505,350.77	5,587,931.03	5,671,750.00	5,756,826.25	5,843,178.64	5,930,826.32
17,637,641.35	17,855,845.88	18,076,799.18	18,300,363.52	18,526,743.79	18,755,797.88	18,987,736.70	19,222,597.95	19,460,232.81	19,700,671.62
4,409,410.34	4,463,961.47	4,519,199.80	4,575,090.88	4,631,685.95	4,688,949.47	4,746,934.17	4,805,649.49	4,865,058.20	4,925,167.91
13,228,231.01	13,391,884.41	13,557,599.39	13,725,272.64	13,895,057.84	14,066,848.41	14,240,802.52	14,416,948.47	14,595,174.61	14,775,503.72
13,228,231.01	13,391,884.41	13,557,599.39	13,725,272.64	13,895,057.84	14,066,848.41	14,240,802.52	14,416,948.47	14,595,174.61	14,775,503.72
157,261,021.36	170,652,905.77	184,210,505.15	197,935,777.79	211,830,835.63	225,897,684.05	240,138,486.57	254,555,435.03	269,150,609.64	283,926,113.36
1,787,538.41	1,645,139.08	1,514,087.72	1,393,466.51	1,282,458.23	1,180,285.29	1,086,255.44	999,719.50	920,071.18	846,762.74
-29,351,350.41	-27,706,211.33	-26,192,123.61	-24,798,657.10	-23,516,198.86	-22,335,913.58	-21,249,658.14	-20,249,938.64	-19,329,867.46	-18,483,104.72
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83
0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
11,176,886.51	11,254,692.33	11,333,665.24	11,413,822.74	11,495,182.60	11,577,762.87	11,661,581.83	11,746,658.08	11,833,010.48	11,920,658.16
17,637,641.35	17,855,845.88	18,076,799.18	18,300,363.52	18,526,743.79	18,755,797.88	18,987,736.70	19,222,597.95	19,460,232.81	19,700,671.62
17,637,641.35	17,855,845.88	18,076,799.18	18,300,363.52	18,526,743.79	18,755,797.88	18,987,736.70	19,222,597.95	19,460,232.81	19,700,671.62
4,409,410.34	4,463,961.47	4,519,199.80	4,575,090.88	4,631,685.95	4,688,949.47	4,746,934.17	4,805,649.49	4,865,058.20	4,925,167.91
13,228,231.01	13,391,884.41	13,557,599.39	13,725,272.64	13,895,057.84	14,066,848.41	14,240,802.52	14,416,948.47	14,595,174.61	14,775,503.72
13,228,231.01	13,391,884.41	13,557,599.39	13,725,272.64	13,895,057.84	14,066,848.41	14,240,802.52	14,416,948.47	14,595,174.61	14,775,503.72
19,461,237.88	32,853,122.29	46,410,721.68	60,135,994.31	74,031,052.16	88,097,900.57	102,338,703.09	116,755,651.56	131,350,826.17	146,126,329.88
2,186,401.14	2,031,620.24	1,887,801.82	1,754,152.51	1,629,969.56	1,514,567.76	1,407,340.32	1,307,707.99	1,215,120.90	1,129,081.41
-88,028,776.21	-85,997,155.96	-84,109,354.14	-82,355,201.63	-80,725,232.07	-79,210,664.30	-77,803,323.98	-76,495,615.99	-75,280,495.09	-74,151,413.68
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83	5,989,831.83
0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
11,176,886.51	11,254,692.33	11,333,665.24	11,413,822.74	11,495,182.60	11,577,762.87	11,661,581.83	11,746,658.08	11,833,010.48	11,920,658.16

Anexo 4. Análisis financiero colector cilindro parabólico sin terreno

Modelado	año	año	año	año	año	año	año	año	año	año	año
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Generación [kWh]		142,533,000.00	142,248,000.00	141,963,000.00	141,679,000.00	141,396,000.00	141,113,000.00	140,831,000.00	140,549,000.00	140,268,000.00	139,988,000.00
Ingresos											
Tarifa de energía eléctrica [\$/kWh]	0.141	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18
Total de ingresos por venta de energía [\$]	0.00	22,106,868.30	22,363,519.32	22,623,468.57	22,886,917.88	23,153,914.65	23,424,340.95	23,698,406.97	23,975,991.47	24,257,310.36	24,542,414.30
Egresos											
Costo O&M [\$]		2679600	2719794	2760590.91	2801999.774	2844029.77	2886690.217	2929990.57	2973940.429	3018549.535	3063827.778
Seguros [\$]	1043071.204	1058717.27	1074598.03	1090717.00	1107077.76	1123683.92	1140539.18	1157647.27	1175011.98	1192637.16	1210526.72
Total de costos [\$]		3738317.272	3794392.031	3851307.912	3909077.53	3967713.693	4027229.399	4087637.84	4148952.407	4211186.693	4274354.494
Análisis Económico sin Financiamiento											
Utilidad Bruta del proyecto [\$]		18,368,551.03	18,569,127.29	18,772,160.65	18,977,840.35	19,186,200.95	19,397,111.55	19,610,769.13	19,827,039.06	20,046,123.67	20,268,059.80
Impuesto Sobre la Renta [\$]		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad del Proyecto [\$]		18,368,551.03	18,569,127.29	18,772,160.65	18,977,840.35	19,186,200.95	19,397,111.55	19,610,769.13	19,827,039.06	20,046,123.67	20,268,059.80
Flujos de efectivo anual [\$]	-158,099,792	18,368,551.03	18,569,127.29	18,772,160.65	18,977,840.35	19,186,200.95	19,397,111.55	19,610,769.13	19,827,039.06	20,046,123.67	20,268,059.80
Flujos de efectivo acumulado [\$]	-158,099,792	-139,731,241.46	-121,162,114.18	-102,389,953.52	-83,412,113.18	-64,225,912.22	-44,828,800.68	-25,218,031.54	-5,390,992.49	14,655,131.18	34,923,190.99
Flujo de efectivo descontado [\$]	-158,099,792	\$ 16,767,276.16	\$ 15,472,722.25	\$ 14,278,320.19	\$ 13,176,414.89	\$ 12,159,818.13	\$ 11,221,806.40	\$ 10,356,379.44	\$ 9,557,819.11	\$ 8,821,023.28	\$ 8,141,198.77
Flujos de efectivo descontado acumulado [\$]	-158,099,792	\$ -141,332,516.34	\$ -125,859,794.09	\$ -111,581,473.91	\$ -98,405,059.02	\$ -86,245,240.89	\$ -75,023,434.49	\$ -64,667,055.05	\$ -55,109,235.94	\$ -46,288,212.66	\$ -38,147,013.89
Ultimo año acumulado negativo [años]		0	0	0	0	0	0	0	8	0	0
Porción del año siguiente [años]		0	0	0	0	0	0	0	0.268929424	0	0
Costo de Capital distribuido a 30 años [\$]	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993
LCOE [\$/kWh]	#jDIV/0!	0.063201577	0.063722408	0.064251256	0.064787799	0.065332165	0.065884947	0.066445817	0.067015386	0.06759332	0.068179755
calculo para el LCOE ponderado [\$]	#jDIV/0!	9008310.355	9064385.114	9121300.995	9179070.613	9237706.776	9297222.482	9357630.923	9418945.49	9481179.776	9544347.577
Análisis económico con financiamiento											
Utilidad bruta del proyecto [\$]		18,368,551.03	18,569,127.29	18,772,160.65	18,977,840.35	19,186,200.95	19,397,111.55	19,610,769.13	19,827,039.06	20,046,123.67	20,268,059.80
Interés [\$]		\$ 14,282,012.47	\$ 13,319,294.79	\$ 12,274,746.10	\$ 11,141,410.77	\$ 9,911,741.94	\$ 8,577,551.26	\$ 7,129,954.37	\$ 5,559,311.75	\$ 3,855,164.50	\$ 2,006,164.74
Cuota nivelada [\$]		\$ 25,608,102.89	\$ 25,608,102.89	\$ 25,608,102.89	\$ 25,608,102.89	\$ 25,608,102.89	\$ 25,608,102.89	\$ 25,608,102.89	\$ 25,608,102.89	\$ 25,608,102.89	\$ 25,608,102.89
Pago a Capital [\$]		\$ 11,326,090.41	\$ 12,288,808.10	\$ 13,333,356.79	\$ 14,466,692.11	\$ 15,696,360.94	\$ 17,030,551.62	\$ 18,478,148.51	\$ 20,048,791.14	\$ 21,752,938.38	\$ 23,601,938.14
Balance [\$]	-110669854.7	\$ -99,343,764.33	-187,054,956.23	-173,721,599.45	-159,254,907.33	-143,558,546.39	-126,527,994.76	\$ -8,049,846.25	\$ 11,998,944.88	\$ 33,751,883.26	\$ 57,353,821.41
Utilidad antes de impuestos [\$]		L4,086,538.55	L5,249,832.50	L6,497,414.56	L7,836,429.57	L9,274,459.01	L10,819,560.29	L12,480,814.76	L14,267,727.31	L16,190,959.16	L18,261,895.06
Impuesto Sobre la Renta [\$]		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad del Proyecto [\$]		L4,086,538.55	L5,249,832.50	L6,497,414.56	L7,836,429.57	L9,274,459.01	L10,819,560.29	L12,480,814.76	L14,267,727.31	L16,190,959.16	L18,261,895.06
Flujos de efectivo anual [\$]	-110669854.7	-17,239,551.86	-17,038,975.60	-16,835,942.23	-16,630,262.54	-16,421,901.93	-16,210,991.34	-15,997,333.76	-15,781,063.83	-15,561,979.22	-15,340,043.08
Flujos de efectivo acumulado [\$]	-110669854.7	-117,909,406.60	-112,948,382.20	-113,178,432.43	-113,841,586.97	-114,483,648.91	-115,104,748.25	-115,704,814.00	-116,282,877.83	-116,838,857.05	-117,372,900.13
Flujo de efectivo descontado [\$]	-110669854.7	-16,644,838.79	-15,930,004.06	-15,285,872.46	-14,705,673.46	-14,183,381.74	-13,713,620.46	-13,291,300.81	-12,911,990.06	-12,571,486.51	-12,266,065.27
Flujos de efectivo descontado acumulado [\$]	-110669854.7	-117,314,693.53	-112,344,697.59	-112,850,570.05	-113,326,243.51	-113,749,625.25	-114,113,245.72	-114,424,546.52	-114,736,536.58	-114,998,023.09	-115,217,088.36
Ultimo año acumulado negativo [años]		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Porción del año siguiente [años]		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo de Capital distribuido a 30 años [\$]	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993
LCOE [\$/kWh]	L0.24	L0.24	L0.24	L0.24	L0.25	L0.25	L0.25	L0.25	L0.25	L0.25	L0.25
calculo para el LCOE ponderado [\$]		L34,616,413.24	L34,672,488.00	L34,729,403.88	L34,787,173.50	L34,845,809.66	L34,905,325.37	L34,965,733.81	L35,027,048.38	L35,089,282.66	L35,152,450.46

año	año	año	año	año	año	año	año	año	año
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
139,708,000.00	139,428,000.00	139,149,000.00	138,871,000.00	138,593,000.00	138,316,000.00	138,040,000.00	137,763,000.00	137,488,000.00	137,213,000.00
0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16
21,964,193.22	22,219,486.59	22,478,220.03	22,740,440.19	23,006,028.39	21,324,938.49	21,601,621.84	21,881,648.75	22,165,538.53	22,453,021.64
3109785.195	3156431.973	3203778.452	3251835.129	3300612.656	3350121.846	3400373.673	3451379.279	3503149.968	3555697.217
1228684.62	1247114.89	1265821.61	1284808.93	1304081.07	1323642.28	1343496.92	1363649.37	1384104.11	1404865.67
4338469.811	4403546.858	4469600.061	4536644.062	4604693.723	4673764.129	4743870.591	4815028.65	4887254.079	4960562.891
17,625,723.41	17,815,939.74	18,008,619.97	18,203,796.12	18,401,334.67	16,651,174.36	16,857,751.25	17,066,620.10	17,278,284.45	17,492,458.75
4406430.852	4453984.934	4502154.992	4550949.031	4600333.668	4162793.59	4214437.812	4266655.024	4319571.113	4373114.687
13,219,292.56	13,361,954.80	13,506,464.98	13,652,847.09	13,801,001.00	12,488,380.77	12,643,313.44	12,799,965.07	12,958,713.34	13,119,344.06
13,219,292.56	13,361,954.80	13,506,464.98	13,652,847.09	13,801,001.00	12,488,380.77	12,643,313.44	12,799,965.07	12,958,713.34	13,119,344.06
48,142,483.54	61,504,438.35	75,010,903.32	88,663,750.41	102,464,751.42	114,953,132.19	127,596,445.63	140,396,410.70	153,355,124.04	166,474,468.10
\$ 4,846,988.77	\$ 4,472,202.04	\$ 4,126,489.38	\$ 3,807,587.39	\$ 3,513,377.85	\$ 2,902,070.92	\$ 2,681,948.37	\$ 2,478,482.81	\$ 2,290,480.65	\$ 2,116,725.22
\$ -33,300,025.13	\$ -28,827,823.08	\$ -24,701,333.70	\$ -20,893,746.31	\$ -17,380,368.46	\$ -14,478,297.54	\$ -11,796,349.17	\$ -9,317,866.37	\$ -7,027,385.72	\$ -4,910,660.50
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993
0.068775323	0.069380181	0.069993986	0.070616883	0.071249535	0.07189159	0.072543203	0.07320559	0.073877336	0.07455967
9608462.894	9673539.941	9739593.144	9806637.145	9874686.806	9943757.212	10013863.67	10085021.73	10157247.16	10230555.97
17,625,723.41	17,815,939.74	18,008,619.97	18,203,796.12	18,401,334.67	16,651,174.36	16,857,751.25	17,066,620.10	17,278,284.45	17,492,458.75
L17,625,723.41	L17,815,939.74	L18,008,619.97	L18,203,796.12	L18,401,334.67	L16,651,174.36	L16,857,751.25	L17,066,620.10	L17,278,284.45	L17,492,458.75
4406430.852	4453984.934	4502154.992	4550949.031	4600333.668	4162793.59	4214437.812	4266655.024	4319571.113	4373114.687
L13,219,292.56	L13,361,954.80	L13,506,464.98	L13,652,847.09	L13,801,001.00	L12,488,380.77	L12,643,313.44	L12,799,965.07	L12,958,713.34	L13,119,344.06
L13,219,292.56	L13,361,954.80	L13,506,464.98	L13,652,847.09	L13,801,001.00	L12,488,380.77	L12,643,313.44	L12,799,965.07	L12,958,713.34	L13,119,344.06
-L160,508,607.57	-L147,146,652.77	-L133,640,187.80	-L119,987,340.70	-L106,186,339.70	-L93,697,958.93	-L81,054,645.49	-L68,254,680.42	-L55,295,967.08	-L42,176,623.02
L5,148,830.96	L4,776,867.37	L4,431,876.47	L4,111,894.30	L3,815,066.12	L3,168,621.60	L2,944,407.51	L2,736,015.55	L2,542,403.20	L2,362,476.14
-L147,025,257.40	-L142,248,390.03	-L137,816,513.56	-L133,704,619.26	-L129,889,553.14	-L126,720,931.54	-L123,776,524.03	-L121,040,508.48	-L118,498,105.28	-L116,135,629.15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993
L0.07	L0.07	L0.07	L0.07	L0.07	L0.07	L0.07	L0.07	L0.07	L0.07
L9,608,462.89	L9,673,539.94	L9,739,593.14	L9,806,637.15	L9,874,686.81	L9,943,757.21	L10,013,863.67	L10,085,021.73	L10,157,247.16	L10,230,555.97

año	año	año	año	año	año	año	año	año	año
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
136,939,000.00	136,665,000.00	136,391,000.00	136,119,000.00	135,846,000.00	135,575,000.00	135,303,000.00	135,033,000.00	134,763,000.00	134,493,000.00
0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19
22,744,308.08	23,039,281.19	23,337,986.03	23,640,815.52	23,947,302.57	24,258,022.90	24,572,495.09	24,891,312.06	25,214,164.73	25,541,102.43
3609032.676	3663168.166	3718115.688	3773887.423	3830495.735	3887953.171	3946272.468	4005466.555	4065548.554	4126531.782
1425938.66	1447327.74	1469037.65	1491073.22	1513439.32	1536140.91	1559183.02	1582570.77	1606309.33	1630403.97
5034971.334	5110495.904	5187153.343	5264960.643	5343935.052	5424094.078	5505455.489	5588037.322	5671857.881	5756935.75
17,709,336.75	17,928,785.29	18,150,832.68	18,375,854.88	18,603,367.52	18,833,928.82	19,067,039.60	19,303,274.74	19,542,306.84	19,784,166.68
4427334.188	4482196.322	4537708.171	4593963.72	4650841.88	4708482.206	4766759.9	4825818.684	4885576.711	4946041.669
13,282,002.56	13,446,588.97	13,613,124.51	13,781,891.16	13,952,525.64	14,125,446.62	14,300,279.70	14,477,456.05	14,656,730.13	14,838,125.01
13,282,002.56	13,446,588.97	13,613,124.51	13,781,891.16	13,952,525.64	14,125,446.62	14,300,279.70	14,477,456.05	14,656,730.13	14,838,125.01
179,756,470.66	193,203,059.63	206,816,184.14	220,598,075.30	234,550,600.94	248,676,047.56	262,976,327.26	277,453,783.31	292,110,513.45	306,948,638.45
\$ 1,956,156.24	\$ 1,807,755.65	\$ 1,670,602.14	\$ 1,543,873.28	\$ 1,426,734.89	\$ 1,318,500.38	\$ 1,218,457.04	\$ 1,126,018.59	\$ 1,040,586.09	\$ 961,629.04
\$ -2,954,504.26	\$ -1,146,748.61	\$ 523,853.53	\$ 2,067,726.81	\$ 3,494,461.70	\$ 4,812,962.08	\$ 6,031,419.12	\$ 7,157,437.71	\$ 8,198,023.80	\$ 9,159,652.84
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993
0.075252225	0.075955724	0.076670355	0.077395174	0.078132062	0.078879492	0.079639391	0.080410199	0.081193287	0.081988868
10304964.42	10380488.99	10457146.43	10534953.73	10613928.14	10694087.16	10775448.57	10858030.4	10941850.96	11026928.83
17,709,336.75	17,928,785.29	18,150,832.68	18,375,854.88	18,603,367.52	18,833,928.82	19,067,039.60	19,303,274.74	19,542,306.84	19,784,166.68
L17,709,336.75	L17,928,785.29	L18,150,832.68	L18,375,854.88	L18,603,367.52	L18,833,928.82	L19,067,039.60	L19,303,274.74	L19,542,306.84	L19,784,166.68
4427334.188	4482196.322	4537708.171	4593963.72	4650841.88	4708482.206	4766759.9	4825818.684	4885576.711	4946041.669
L13,282,002.56	L13,446,588.97	L13,613,124.51	L13,781,891.16	L13,952,525.64	L14,125,446.62	L14,300,279.70	L14,477,456.05	L14,656,730.13	L14,838,125.01
L13,282,002.56	L13,446,588.97	L13,613,124.51	L13,781,891.16	L13,952,525.64	L14,125,446.62	L14,300,279.70	L14,477,456.05	L14,656,730.13	L14,838,125.01
-L28,894,620.45	-L15,448,031.49	-L1,834,906.97	L11,946,984.19	L25,899,509.83	L40,024,956.44	L54,325,236.14	L68,802,692.20	L83,459,422.33	L98,297,547.34
L2,195,288.66	L2,039,919.22	L1,895,533.31	L1,761,388.62	L1,636,710.86	L1,520,876.99	L1,413,218.12	L1,313,196.41	L1,220,245.71	L1,133,866.67
-L113,940,340.49	-L111,900,421.27	-L110,004,887.96	-L108,243,499.34	-L106,606,788.48	-L105,085,911.49	-L103,672,693.37	-L102,359,496.96	-L101,139,251.25	-L100,005,384.58
0	0	23	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0.133138983	0	0	0	0	0	0	0
5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993	5,269,993
L0.08	L0.08	L0.08	L0.08	L0.08	L0.08	L0.08	L0.08	L0.08	L0.08
L10,304,964.42	L10,380,488.99	L10,457,146.43	L10,534,953.73	L10,613,928.14	L10,694,087.16	L10,775,448.57	L10,858,030.40	L10,941,850.96	L11,026,928.83

Anexo 5. Análisis financiero colector cilindro parabólico con terreno

Modelado	año	año	año	año	año	año	año	año	año	año	año	año
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Generación [kWh]		142,533,000.00	142,248,000.00	141,963,000.00	141,679,000.00	141,396,000.00	141,113,000.00	140,831,000.00	140,549,000.00	140,268,000.00	139,988,000.00	
Ingresos												
Tarifa de energía eléctrica [\$/kW]	0.141	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18
Total de ingresos por venta de energía [\$]	0.00	22,106,868.30	22,363,519.32	22,623,468.57	22,886,917.88	23,153,914.65	23,424,340.95	23,698,406.97	23,975,991.47	24,257,310.36	24,542,414.30	
Egresos												
Costo O&M [\$]		2,679,600.00	2,719,794.00	2,760,590.91	2,801,999.77	2,844,029.77	2,886,690.22	2,929,990.57	2,973,940.43	3,018,549.54	3,063,827.78	
Seguros [\$]	1,043,071.20	1,058,717.27	1,074,598.03	1,090,717.00	1,107,077.76	1,123,683.92	1,140,539.18	1,157,647.27	1,175,011.98	1,192,637.16	1,210,526.72	
Total de costos [\$]		3,738,317.27	3,794,392.03	3,851,307.91	3,909,077.53	3,967,713.69	4,027,229.40	4,087,637.84	4,148,952.41	4,211,186.69	4,274,354.49	
Análisis Económico sin Financiamiento												
Utilidad Bruta del proyecto [\$]		18,368,551.03	18,569,127.29	18,772,160.65	18,977,840.35	19,186,200.95	19,397,111.55	19,610,769.13	19,827,039.06	20,046,123.67	20,268,059.80	
Impuesto Sobre la Renta [\$]		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Utilidad del Proyecto [\$]		18,368,551.03	18,569,127.29	18,772,160.65	18,977,840.35	19,186,200.95	19,397,111.55	19,610,769.13	19,827,039.06	20,046,123.67	20,268,059.80	
Flujos de efectivo anual [\$]	-160,144,171	18,368,551.03	18,569,127.29	18,772,160.65	18,977,840.35	19,186,200.95	19,397,111.55	19,610,769.13	19,827,039.06	20,046,123.67	20,268,059.80	
Flujos de efectivo acumulado [\$]	-160,144,171	-141,775,619.51	-123,206,492.23	-104,434,331.57	-85,456,491.23	-66,270,290.27	-46,873,178.73	-27,262,409.59	-7,435,370.54	12,610,753.13	32,878,812.94	
Flujo de efectivo descontado [\$]	-160,144,171	\$ 16,698,682.75	\$ 15,346,386.19	\$ 14,103,802.14	\$ 12,962,120.31	\$ 11,913,121.28	\$ 10,949,163.79	\$ 10,063,425.38	\$ 9,249,460.05	\$ 8,501,513.31	\$ 7,814,214.45	
Flujos de efectivo decontado acumulado [\$]	-160,144,171	\$ -143,445,487.79	\$ -128,099,101.60	\$ -113,995,299.46	\$ -101,033,179.15	\$ -89,120,057.87	\$ -78,170,894.08	\$ -68,107,468.69	\$ -58,858,008.65	\$ -50,356,495.34	\$ -42,542,280.89	
Ultimo año acumulado negativo [años]		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Porción del año siguiente [años]		0	0	0	0	0	0	0	0.370913133	0	0	
Costo de Capital distribuido a 30 años [\$]	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	
LCOE [\$/kWh]		0.063679683	0.064201472	0.064731282	0.065268788	0.065814116	0.066367864	0.066929702	0.067500241	0.068079146	0.068666554	
calculo para el LCOE ponderado [\$]		9076456.29	9132531.049	9189446.93	9247216.548	9305852.711	9365368.417	9425776.858	9487091.425	9549325.711	9612493.512	
Análisis económico con financiamiento												
Utilidad bruta del proyecto [\$]		18,368,551.03	18,569,127.29	18,772,160.65	18,977,840.35	19,186,200.95	19,397,111.55	19,610,769.13	19,827,039.06	20,046,123.67	20,268,059.80	
Interés [\$]		L14,680,662.47	L13,691,072.71	L12,617,367.81	L11,452,398.00	L10,188,405.75	L8,816,974.16	L7,328,970.89	L5,714,487.34	L3,962,772.68	L2,062,162.28	
Cuota nivelada [\$]		L26,322,895.02	L26,322,895.02	L26,322,895.02	L26,322,895.02	L26,322,895.02	L26,322,895.02	L26,322,895.02	L26,322,895.02	L26,322,895.02	L26,322,895.02	
Pago a Capital [\$]		L11,642,232.55	L12,631,822.32	L13,705,527.21	L14,870,497.03	L16,134,489.27	L17,505,920.86	L18,993,924.14	L20,608,407.69	L22,360,122.34	L24,260,732.74	
Balance [\$]	-112100919.4	-L100,458,686.83	-L87,826,864.51	-L74,121,337.30	-L59,250,840.27	-L43,116,351.00	-L25,610,430.13	-L6,616,506.00	L13,991,901.69	L36,352,024.03	L60,612,756.77	
Utilidad antes de impuestos [\$]		L3,687,888.55	L4,878,054.58	L6,154,792.85	L7,525,442.35	L8,997,795.20	L10,580,137.39	L12,281,798.24	L14,112,551.72	L16,083,350.99	L18,205,897.52	
Impuesto Sobre la Renta [\$]		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Utilidad del Proyecto [\$]		L3,687,888.55	L4,878,054.58	L6,154,792.85	L7,525,442.35	L8,997,795.20	L10,580,137.39	L12,281,798.24	L14,112,551.72	L16,083,350.99	L18,205,897.52	
Flujos de efectivo anual [\$]	-112100919.4	-L7,954,344.00	-L7,753,767.73	-L7,550,734.37	-L7,345,054.68	-L7,136,694.07	-L6,925,783.47	-L6,712,125.89	-L6,495,855.96	-L6,276,771.36	-L6,054,835.22	
Flujos de efectivo acumulado [\$]	-112100919.4	-L120,055,263.37	-L127,809,031.11	-L135,359,765.48	-L142,704,820.16	-L149,841,514.23	-L156,767,297.70	-L163,479,423.59	-L169,975,279.56	-L176,252,050.91	-L182,306,886.13	
Flujo de efectivo descontado [\$]	-112100919.4	-L7,300,912.34	-L6,532,182.63	-L5,838,583.40	-L5,212,980.43	-L4,649,014.57	-L4,141,002.59	-L3,683,574.45	-L3,272,039.29	-L2,901,958.50	-L2,569,389.72	
Flujos de efectivo decontado acumulado [\$]	-112100919.4	-L119,401,831.72	-L125,934,014.35	-L131,772,597.75	-L136,985,578.19	-L141,634,592.76	-L145,775,595.35	-L149,459,169.79	-L152,731,209.08	-L155,633,167.58	-L158,202,557.31	
Ultimo año acumulado negativo [años]		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Porción del año siguiente [años]		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Costo de Capital distribuido a 30 años [\$]	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	
LCOE [\$/kWh]		L0.25	L0.25	L0.25	L0.25	L0.25	L0.25	L0.25	L0.25	L0.25	L0.26	
calculo para el LCOE ponderado [\$]		L35,399,351.31	L35,455,426.07	L35,512,341.95	L35,570,111.57	L35,628,747.73	L35,688,263.44	L35,748,671.88	L35,809,986.45	L35,872,220.73	L35,935,388.54	

año	año	año	año	año	año	año	año	año	año
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
139,708,000.00	139,428,000.00	139,149,000.00	138,871,000.00	138,593,000.00	138,316,000.00	138,040,000.00	137,763,000.00	137,488,000.00	137,213,000.00
0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16
21,964,193.22	22,219,486.59	22,478,220.03	22,740,440.19	23,006,028.39	21,324,938.49	21,601,621.84	21,881,648.75	22,165,538.53	22,453,021.64
3,109,785.19	3,156,431.97	3,203,778.45	3,251,835.13	3,300,612.66	3,350,121.85	3,400,373.67	3,451,379.28	3,503,149.97	3,555,697.22
1,228,684.62	1,247,114.89	1,265,821.61	1,284,808.93	1,304,081.07	1,323,642.28	1,343,496.92	1,363,649.37	1,384,104.11	1,404,865.67
4,338,469.81	4,403,546.86	4,469,600.06	4,536,644.06	4,604,693.72	4,673,764.13	4,743,870.59	4,815,028.65	4,887,254.08	4,960,562.89
17,625,723.41	17,815,939.74	18,008,619.97	18,203,796.12	18,401,334.67	16,651,174.36	16,857,751.25	17,066,620.10	17,278,284.45	17,492,458.75
4406430.852	4453984.934	4502154.992	4550949.031	4600333.668	4162793.59	4214437.812	4266655.024	4319571.113	4373114.687
13,219,292.56	13,361,954.80	13,506,464.98	13,652,847.09	13,801,001.00	12,488,380.77	12,643,313.44	12,799,965.07	12,958,713.34	13,119,344.06
13,219,292.56	13,361,954.80	13,506,464.98	13,652,847.09	13,801,001.00	12,488,380.77	12,643,313.44	12,799,965.07	12,958,713.34	13,119,344.06
46,098,105.49	59,460,060.30	72,966,525.27	86,619,372.36	100,420,373.37	112,908,754.14	125,552,067.58	138,352,032.65	151,310,745.99	164,430,090.05
\$ 4,633,281.40	\$ 4,257,530.58	\$ 3,912,341.80	\$ 3,595,221.35	\$ 3,303,849.91	\$ 2,717,835.51	\$ 2,501,412.16	\$ 2,302,186.23	\$ 2,118,853.18	\$ 1,950,106.90
\$ -37,908,999.50	\$ -33,651,468.91	\$ -29,739,127.11	\$ -26,143,905.76	\$ -22,840,055.85	\$ -20,122,220.33	\$ -17,620,808.17	\$ -15,318,621.95	\$ -13,199,768.76	\$ -11,249,661.86
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139
0.069263098	0.069868935	0.070483719	0.071107597	0.071741233	0.072384273	0.073036871	0.073700251	0.074372986	0.075056313
9676608.829	9741685.876	9807739.079	9874783.08	9942832.741	10011903.15	10082009.61	10153167.67	10225393.1	10298701.91
17,625,723.41	17,815,939.74	18,008,619.97	18,203,796.12	18,401,334.67	16,651,174.36	16,857,751.25	17,066,620.10	17,278,284.45	17,492,458.75
L17,625,723.41	L17,815,939.74	L18,008,619.97	L18,203,796.12	L18,401,334.67	L16,651,174.36	L16,857,751.25	L17,066,620.10	L17,278,284.45	L17,492,458.75
4406430.852	4453984.934	4502154.992	4550949.031	4600333.668	4162793.59	4214437.812	4266655.024	4319571.113	4373114.687
L13,219,292.56	L13,361,954.80	L13,506,464.98	L13,652,847.09	L13,801,001.00	L12,488,380.77	L12,643,313.44	L12,799,965.07	L12,958,713.34	L13,119,344.06
L13,219,292.56	L13,361,954.80	L13,506,464.98	L13,652,847.09	L13,801,001.00	L12,488,380.77	L12,643,313.44	L12,799,965.07	L12,958,713.34	L13,119,344.06
-L169,087,593.58	-L155,725,638.78	-L142,219,173.80	-L128,566,326.71	-L114,765,325.70	-L102,276,944.93	-L89,633,631.50	-L76,833,666.42	-L63,874,953.08	-L50,755,609.02
L5,148,830.96	L4,776,867.37	L4,431,876.47	L4,111,894.30	L3,815,066.12	L3,168,621.60	L2,944,407.51	L2,736,015.55	L2,542,403.20	L2,362,476.14
-L153,053,726.35	-L148,276,858.98	-L143,844,982.50	-L139,733,088.20	-L135,918,022.09	-L132,749,400.49	-L129,804,992.98	-L127,068,977.42	-L124,526,574.23	-L122,164,098.09
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139
L0.07	L0.07	L0.07	L0.07	L0.07	L0.07	L0.07	L0.07	L0.07	L0.08
L9,676,608.83	L9,741,685.88	L9,807,739.08	L9,874,783.08	L9,942,832.74	L10,011,903.15	L10,082,009.61	L10,153,167.67	L10,225,393.10	L10,298,701.91

año	año	año	año	año	año	año	año	año	año
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
136,939,000.00	136,665,000.00	136,391,000.00	136,119,000.00	135,846,000.00	135,575,000.00	135,303,000.00	135,033,000.00	134,763,000.00	134,493,000.00
0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19
22,744,308.08	23,039,281.19	23,337,986.03	23,640,815.52	23,947,302.57	24,258,022.90	24,572,495.09	24,891,312.06	25,214,164.73	25,541,102.43
3,609,032.68	3,663,168.17	3,718,115.69	3,773,887.42	3,830,495.73	3,887,953.17	3,946,272.47	4,005,466.56	4,065,548.55	4,126,531.78
1,425,938.66	1,447,327.74	1,469,037.65	1,491,073.22	1,513,439.32	1,536,140.91	1,559,183.02	1,582,570.77	1,606,309.33	1,630,403.97
5,034,971.33	5,110,495.90	5,187,153.34	5,264,960.64	5,343,935.05	5,424,094.08	5,505,455.49	5,588,037.32	5,671,857.88	5,756,935.75
17,709,336.75	17,928,785.29	18,150,832.68	18,375,854.88	18,603,367.52	18,833,928.82	19,067,039.60	19,303,274.74	19,542,306.84	19,784,166.68
4427334.188	4482196.322	4537708.171	4593963.72	4650841.88	4708482.206	4766759.9	4825818.684	4885576.711	4946041.669
13,282,002.56	13,446,588.97	13,613,124.51	13,781,891.16	13,952,525.64	14,125,446.62	14,300,279.70	14,477,456.05	14,656,730.13	14,838,125.01
13,282,002.56	13,446,588.97	13,613,124.51	13,781,891.16	13,952,525.64	14,125,446.62	14,300,279.70	14,477,456.05	14,656,730.13	14,838,125.01
177,712,092.61	191,158,681.58	204,771,806.09	218,553,697.25	232,506,222.89	246,631,669.51	260,931,949.21	275,409,405.26	290,066,135.40	304,904,260.40
\$ 1,794,804.59	\$ 1,651,859.31	\$ 1,520,288.67	\$ 1,399,214.74	\$ 1,287,762.28	\$ 1,185,202.00	\$ 1,090,792.22	\$ 1,003,915.29	\$ 923,951.60	\$ 850,351.48
\$ -9,454,857.28	\$ -7,802,997.96	\$ -6,282,709.29	\$ -4,883,494.55	\$ -3,595,732.27	\$ -2,410,530.28	\$ -1,319,738.05	\$ -315,822.76	\$ 608,128.84	\$ 1,458,480.32
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139
0.075749862	0.076454359	0.077169992	0.077895809	0.078633703	0.079382136	0.080143046	0.08091486	0.08169896	0.082495556
10373110.35	10448634.92	10525292.36	10603099.66	10682074.07	10762233.1	10843594.51	10926176.34	11009996.9	11095074.77
17,709,336.75	17,928,785.29	18,150,832.68	18,375,854.88	18,603,367.52	18,833,928.82	19,067,039.60	19,303,274.74	19,542,306.84	19,784,166.68
L17,709,336.75	L17,928,785.29	L18,150,832.68	L18,375,854.88	L18,603,367.52	L18,833,928.82	L19,067,039.60	L19,303,274.74	L19,542,306.84	L19,784,166.68
4427334.188	4482196.322	4537708.171	4593963.72	4650841.88	4708482.206	4766759.9	4825818.684	4885576.711	4946041.669
L13,282,002.56	L13,446,588.97	L13,613,124.51	L13,781,891.16	L13,952,525.64	L14,125,446.62	L14,300,279.70	L14,477,456.05	L14,656,730.13	L14,838,125.01
L13,282,002.56	L13,446,588.97	L13,613,124.51	L13,781,891.16	L13,952,525.64	L14,125,446.62	L14,300,279.70	L14,477,456.05	L14,656,730.13	L14,838,125.01
-L37,473,606.46	-L24,027,017.49	-L10,413,892.98	L3,367,998.18	L17,320,523.82	L31,445,970.44	L45,746,250.14	L60,223,706.19	L74,880,436.33	L89,718,561.33
L2,195,288.66	L2,039,919.22	L1,895,533.31	L1,761,388.62	L1,636,710.86	L1,520,876.99	L1,413,218.12	L1,313,196.41	L1,220,245.71	L1,133,866.67
-L119,968,809.43	-L117,928,890.22	-L116,033,356.91	-L114,271,968.29	-L112,635,257.42	-L111,114,380.43	-L109,701,162.31	-L108,387,965.90	-L107,167,720.19	-L106,033,853.53
0	0	23	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0.755621479	0	0	0	0	0	0	0
5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139	5,338,139
L0.08	L0.08	L0.08	L0.08	L0.08	L0.08	L0.08	L0.08	L0.08	L0.08
L10,373,110.35	L10,448,634.92	L10,525,292.36	L10,603,099.66	L10,682,074.07	L10,762,233.10	L10,843,594.51	L10,926,176.34	L11,009,996.90	L11,095,074.77

Anexo 6. Generación de energía eléctrica de la tecnología de colector cilindros parabólicos

COLECTOR CILINDROS PARABOLICOS		
AÑO	ENERGIA PRODUCIDA [MWh]	GENERACION ANUAL DE ENERGIA [GWh]
1	142,533	142.533
2	142,248	142.248
3	141,963	141.963
4	141,679	141.679
5	141,396	141.396
6	141,113	141.113
7	140,831	140.831
8	140,549	140.549
9	140,268	140.268
10	139,988	139.988
11	139,708	139.708
12	139,428	139.428
13	139,149	139.149
14	138,871	138.871
15	138,593	138.593
16	138,316	138.316
17	138,040	138.040
18	137,763	137.763
19	137,488	137.488
20	137,213	137.213
21	136,939	136.939
22	136,665	136.665
23	136,391	136.391
24	136,119	136.119
25	135,846	135.846
26	135,575	135.575
27	135,303	135.303
28	135,033	135.033
29	134,763	134.763
30	134,493	134.493
		4154.264

Anexo 7. Generación de energía eléctrica de la tecnología de receptor central

RECEPTOR CENTRAL		
AÑO	ENERGIA PRODUCIDA [MWh]	GENERACION ANUAL DE ENERGIA [GWh]
1	144,037	144.037
2	143,751	143.751
3	143,466	143.466
4	143,181	143.181
5	142,896	142.896
6	142,613	142.613
7	142,329	142.329
8	142,047	142.047
9	141,765	141.765
10	141,483	141.483
11	141,202	141.202
12	140,922	140.922
13	140,642	140.642
14	140,363	140.363
15	140,084	140.084
16	139,806	139.806
17	139,528	139.528
18	139,251	139.251
19	138,974	138.974
20	138,699	138.699
21	138,423	138.423
22	138,148	138.148
23	137,874	137.874
24	137,600	137.600
25	137,327	137.327
26	137,054	137.054
27	136,782	136.782
28	136,511	136.511
29	136,240	136.240
30	135,969	135.969
		4198.967