



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE MECÁNICA

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE
CALENTAMIENTO DE AGUA, MEDIANTE INTEGRACIÓN SOLAR EN LA
QUESERA ARTESANAL “SAN SEBASTIÁN”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Mecánico

AUTORES: DANY ENRIQUE AGUAISA NOGALES
JOHN JAIRO VALDEZ BARRAGAN

TUTOR: WILLIAM GIOVANNY QUITIAQUEZ SARZOSA

Quito – Ecuador
2024

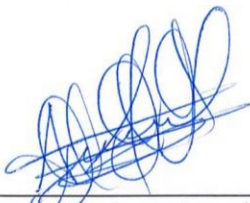
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Dany Enrique Aguaisa Nogales con documento de identificación N° 1718956756 y John Jairo Valdez Barragan con documento de identificación N° 2200071450; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 01 de agosto del año 2024

Atentamente,



Dany Enrique Aguaisa Nogales
1718956756



John Jairo Valdez Barragan
2200071450

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Dany Enrique Aguaisa Nogales con documento de identificación N° 1718956756 y John Jairo Valdez Barragan con documento de identificación N° 2200071450, expresamos nuestra voluntad por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores de la Propuesta tecnológica: "Análisis de la Eficiencia Energética del Sistema de Calentamiento de Agua, Mediante Integración Solar en la Quesera Artesanal San Sebastián", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 01 de agosto del año 2024

Atentamente,



Dany Enrique Aguaisa Nogales

1718956756



John Jairo Valdez Barragan

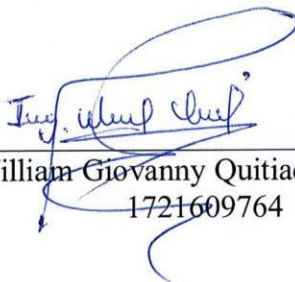
2200071450

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, William Giovanny Quitiaquez Sarzosa con documento de identificación N° 1721609764 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA, MEDIANTE INTEGRACIÓN SOLAR EN LA QUESERA ARTESANAL “SAN SEBASTIÁN”, realizado por Dany Enrique Aguaisa Nogales con documento de identificación N° 1718956756 y por John Jairo Valdez Barragan con documento de identificación N° 2200071450, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Propuesta Tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 01 de agosto del año 2024

Atentamente



Ing. William Giovanny Quitiaquez Sarzosa, PhD.
1721609764

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han acompañado y apoyado en este viaje académico. Manifiesto mi profunda gratitud a mi tutor de tesis, el Ing. William Quitiaquez, PhD., por su invaluable orientación, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso. Su conocimiento y experiencia han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación. También extendo mi gratitud al Ing. Luis Fernando Toapanta Ramos, PhD., por su constante apoyo y valiosas contribuciones. Su entusiasmo por la enseñanza y su compromiso con los estudiantes han sido una fuente de inspiración. A mi madre, Mercedes Nogales, no tengo palabras suficientes para agradecerle por su amor incondicional, sacrificio y apoyo en todo momento. Eres mi pilar y mi mayor motivación. A toda mi familia, gracias por estar siempre a mi lado, por su comprensión y aliento. Sus palabras de ánimo y su fe en mí han sido cruciales para llegar hasta aquí.

Este logro no hubiera sido posible sin cada uno de ustedes gracias.

Dany Enrique Aguaisa Nogales

En primer lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Hoscarr Valdez y Gladiz Barragan. Su apoyo incondicional, amor y sacrificios han sido la base sobre la cual he construido mi educación y este trabajo de tesis. Sin su orientación y ánimo constantes, no habría sido posible llegar hasta aquí. También quiero agradecer a mi tutor de tesis, el Ing. William Quitiaquez. Su paciencia, conocimiento y valiosos consejos han sido fundamentales en el desarrollo y culminación de esta investigación. Su dedicación y compromiso con mi formación académica han sido una fuente de inspiración y motivación.

A todos ustedes, les extiendo mi gratitud más sincera.

John Jairo Valdez Barragan

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi querida familia, cuyo amor, apoyo y comprensión han sido invaluableles en cada paso de este camino académico. A mi madre, Mercedes Nogales, cuya fortaleza y dedicación me han inspirado a superar cada desafío y alcanzar mis metas. A cada miembro de mi familia, gracias por creer en mí y por su constante aliento. También quiero dedicar este trabajo a un soldado que tengo en el cielo, cuya memoria me acompaña y me cuida desde las alturas. Su sacrificio y valor me han enseñado el verdadero significado de la perseverancia y la dedicación. Aunque no estés físicamente aquí, tu espíritu vive en mis recuerdos y en cada logro que alcanzo.

A todos ustedes, les dedico este esfuerzo y este logro, con todo mi cariño y gratitud.

Dany Enrique Aguaisa Nogales

Dedico esta tesis con todo mi amor y agradecimiento a mis padres, Hoscar Valdez y Gladiz Barragan. Desde mis primeros pasos hasta este momento, han estado a mi lado, guiándome y apoyándome en cada etapa de mi vida. Sus sacrificios, esfuerzo y dedicación han sido invaluableles y siempre me han impulsado a alcanzar mis metas. Papá, gracias por enseñarme la importancia del trabajo duro y la honestidad. Tu fortaleza y sabiduría han sido una fuente constante de inspiración para mí. Mamá, tu amor incondicional y tu capacidad para ver siempre lo mejor en mí me han dado la confianza necesaria para superar cualquier obstáculo. Ambos me han inculcado valores fundamentales y me han mostrado que, con perseverancia y dedicación, todo es posible. Este logro es tanto mío como suyo, y les agradezco de todo corazón por creer en mí y por estar siempre presentes en cada paso de este camino.

Esta tesis es un reflejo de su amor, apoyo y el ejemplo que han sido para mí. Gracias por ser mis guías y por darme las herramientas para alcanzar este logro académico. Los amo profundamente.

John Jairo Valdez Barragan

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMA DE ESTUDIO	1
JUSTIFICACIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	1
OBJETIVOS ESPECÍFICO	1
CAPÍTULO I FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	3
1.1 Revisión del estado del arte.....	3
1.2 Energía	6
1.3 Termodinámica y transferencia de calor	7
1.4 Eficiencia energética	8
1.5 Norma ISO 50001	9
1.6 Desarrollo sustentable	10
1.7 Energías renovables.....	12
1.8 Energía solar.....	13
1.9 Sistemas fotovoltaicos y térmicos	14
1.10 Colectores solares.....	15
1.11 Sistemas de calentamiento de agua	17
1.12 Calentamiento de agua con energía solar	18
1.13 Selección de alternativas	20
CAPÍTULO II DESARROLLO METODOLÓGICO DE LA PROPUESTA	23
2.1 Situación actual	23
2.2 Ángulos solares	28
2.3 Radiación solar	31
2.4 Colector solar parabólico.....	33
2.4.1 <i>Transferencia de calor</i>	34
2.4.2 <i>Eficiencia del colector solar</i>	35

2.5	Diseño del sistema de calentamiento de agua	37
2.5.1	<i>Parábola</i>	37
2.5.2	<i>Modelado</i>	38
2.5.3	<i>Condiciones iniciales</i>	39
2.5.4	<i>Mallado</i>	41
CAPÍTULO III ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		43
3.1	Calentamiento del agua	43
3.2	Variación de temperatura del agua respecto a longitud del tubo	45
3.3	Análisis de eficiencia energética	47
CAPÍTULO IV ANÁLISIS ECONÓMICO.....		50
4.1	Materiales.....	50
4.2	Costo de calentamiento de cada m ³	50
4.3	Análisis comparativo de costos	53
4.4	Perspectiva económica	54
4.5	Ahorro económico.....	54
4.6	Valor actual neto (V.A.N.)	55
4.7	Tasa interna de retorno (T.I.R.).....	56
4.8	Tiempo de recuperación	57
CONCLUSIONES		58
RECOMENDACIONES		60
BIBLIOGRAFÍA.....		61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cambios en la eficiencia energética de 1994 a 2013	6
Figura 2. Tipos de Energía	7
Figura 3. Medios de Transferencia de Calor	8
Figura 4. Culminación para sistemas de manejo energético	10
Figura 5. Ventajas del análisis de eficiencia energética	12
Figura 6. Tipos de Energía Sustentabl.....	13
Figura 7. Funcionamiento de una celda fotovoltaica	14
Figura 8. Componentes de un panel solar fotovoltaico	15
Figura 9. Colector de placa plana.....	16
Figura 10. Colector tubos de vacío.....	17
Figura 11. Sistema de calentamiento de agua de termosifón	19
Figura 12. Sistema para calentar agua con colector solar cilíndrico-parabólico.....	20
Figura 13. Caldero de la Quesera Artesanal “San Sebastián”	23
Figura 14. Uso de combustibles fósiles y la conexión hacia el caldero	24
Figura 15. Tanque reservorio de agua	25
Figura 16. Línea de ingreso de agua y salida de vapor al caldero.....	26
Figura 17. Dispositivos de control eléctrico y de distribución de flujo.....	27
Figura 18. Ángulos solares.....	28
Figura 19. Radiación en un plano.....	32
Figura 20. Foco de una parábola	37
Figura 21. Modelado del sistema para calentar agua con colector solar parabólico.	38
Figura 22. Partes del sistema para calentar agua con colector solar parabólico.....	39
Figura 23. Definición de flujo másico del agua	39
Figura 24. Radiación solar incidente de marzo	40
Figura 25. Flujo de calor establecido para la simulación.	41
Figura 26. Generación de la malla.....	41
Figura 27. Métrica de validación para el mallado	42
Figura 28. Simulación inicial con ingreso del agua desde el suministro potable.....	43
Figura 29. Simulación con temperatura de ingreso de 30 °C	44
Figura 30. Simulación con temperatura de ingreso de 35 °C	44

Figura 31. Simulación con temperatura de ingreso de 35 °C.....	45
Figura 32. Aumento de temperatura del agua respecto a longitud del tubo	46
Figura 33. Calor útil transferido al agua.....	47
Figura 34. Eficiencia del colector solar.....	48
Figura 35. Cantidad de calor requerida para llegar a 105 °C en el agua	49
Figura 36. Distribución de la energía requerida por tipo de fuente.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Revisión de los colectores utilizados para calentar agua	21
Tabla 2. Radiación difusa.....	32
Tabla 3. Descripción de materiales requeridos.....	50
Tabla 4. Pliego Tarifario 2022	51
Tabla 5. Costos para calentar agua.....	53
Tabla 6. Incremento de inflación en Ecuador.....	54
Tabla 7. Proyección de ahorros.	55
Tabla 8. Cálculo del V.A.N.....	56
Tabla 9. Cálculo de T.I.R.	57

RESUMEN

En este proyecto, se ha analizado el consumo energético que demanda el uso de un caldero para la generación de vapor en la Quesera Artesanal “San Sebastián”. Debido al constante crecimiento poblacional, los recursos requeridos para suplir las necesidades de las personas también se incrementan. Esto conlleva una contaminación debido a las emisiones de las máquinas que requieren de combustibles fósiles y energías convencionales para su funcionamiento. Es por esta razón que se ha propuesto un sistema de calentamiento mediante un colector solar parabólico, contribuyendo sustentablemente a mejorar la eficiencia energética.

El Capítulo I describe la teoría necesaria para respaldar este proyecto, presentando la revisión del estado del arte referente a colectores solares térmicos, y su vinculación como una energía renovable direccionada hacia el desarrollo sustentable. También se han incluido los diferentes usos para energía térmica proveniente del sol hasta particularizar con sistemas de calentamiento de agua.

El Capítulo II presenta la metodología, que incluye los modelos matemáticos para el desarrollo analítico, además del proceso de análisis numérico computacional mediante el método de elementos finitos. También se ha presentado el diseño para el prototipo de sistema de calentamiento mediante un colector solar parabólico, para luego definir condiciones iniciales y de contorno, y el mallado.

El Capítulo III explica los resultados más importantes que se obtuvieron mediante los procesos de simulación. También se han incluido los valores calculados y una comparativa entre estos procesos.

Por último, el Capítulo IV complementa el alcance de este proyecto mediante un análisis energético respecto a la situación actual y la manera en que mejoraría el proceso productivo al implementar este prototipo. Esta sección plantea un análisis económico para evidenciar si esta alternativa resulta viable.

Palabras clave: Consumo energético, caldero, colector solar parabólico, eficiencia energética, desarrollo sustentable

ABSTRACT

This project analyzes the energy consumption required by the use of a boiler for steam generation at the Quesera Artesanal “San Sebastián”. Due to constant population growth, the resources needed to meet people's demands are also increasing. This leads to pollution from the emissions of machines that rely on fossil fuels and conventional energy sources. Therefore, a heating system using a parabolic solar collector has been proposed, contributing sustainably to improving energy efficiency.

Chapter I outlines the theoretical foundations supporting the development of this project. It presents a review of the literature in a thermal solar collector and their role as a renewable energy source aimed at sustainable development. This chapter also explores various applications of solar thermal energy, with a particular focus on water heating systems.

Chapter II describes the methodological framework, including the mathematical models for analytical development and the numerical computational analysis process employing the finite element method. It details the design of the prototype heating system using a parabolic solar collector, defines the conditions to begin and boundary conditions, and explains the meshing process.

In Chapter III, the most significant results obtained through the simulation processes are presented. It also includes the calculated values and a comparison between these processes.

Chapter IV extends the scope of the project with an analysis about the current situation and the improvements expected from implementing this prototype. It also includes an economic analysis to determine the feasibility of this alternative.

Keywords: Energy consumption, boiler, parabolic solar collector, energy efficiency, sustainable development

INTRODUCCIÓN

PROBLEMA DE ESTUDIO

El proceso para calentar agua en la Quesera Artesanal "San Sebastián" presenta ineficiencias en su uso de energía convencional, y se transforma en un consumo de energía eléctrica elevado. Como consecuencia, se genera contaminación ambiental y se emite dióxido de carbono (CO₂), también costos asociados al uso de este sistema son significativos. Entonces, se necesita mejorar la eficiencia energética de este sistema, disminuir su impacto ambiental y obtener beneficios económicos integrando tecnologías de energía solar.

JUSTIFICACIÓN

El estudio de sistemas de calentamiento para agua continúa evolucionando, con un enfoque en soluciones basadas en energía eléctrica y, en el contexto ecuatoriano, se carece de investigaciones significativas que aborden la incubación de calor con el uso de energía solar. Este proyecto se enfoca en mejorar el calor transferido a través de la integración de energía solar para calentar agua en la Quesera Artesanal "San Sebastián". Utilizar una energía renovable va más allá de una mayor eficiencia energética, sino que también presenta beneficios económicos al reducir los costos operativos.

Al mismo tiempo, este enfoque busca mantener la asequibilidad del sistema y garantizar su durabilidad a largo plazo, cumpliendo con las necesidades de la Quesera. Esta investigación se fundamenta en que la integración de energía solar va a mejorar la sostenibilidad ambiental y a la vez la sostenibilidad económica en el contexto específico de la Quesera.

OBJETIVO GENERAL

Analizar la eficiencia energética del sistema de calentamiento para agua, mediante integración solar en la Quesera Artesanal "San Sebastián".

OBJETIVOS ESPECÍFICO

- Establecer un levantamiento de información actual del beneficio energético en el sistema para calentamiento de agua en la Quesera Artesanal.

- Diseñar un sistema viable que utilice energía solar para el suministro de calor al agua.
- Determinar el impacto energético desarrollado con el nuevo sistema de calentamiento solar.
- Evaluar económicamente mediante indicadores financieros del proceso de calentamiento de agua para la Quesera Artesanal “San Sebastián”.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

1.1 Revisión del estado del arte

El constante crecimiento poblacional conlleva a un mayor consumo de recursos, por lo que la reducción de demanda energética, residencial, comercial e industrial requiere adoptar políticas de eficiencia energética. Economidou et al. [1] presentaron la revisión de estas políticas en los últimos 50 años, analizando el impacto de emisiones de CO₂ y uso de combustibles fósiles hacia el cambio climático. Estos aspectos, si bien se iniciaron a tratar en la década de 1970, tomaron relevancia en la Conferencia de Río de 1992, seguido por el Protocolo de Kioto en 1997 y con acciones más significativas con el Acuerdo de París del COP 21, buscando acciones para limitar el calentamiento global. Se han planteado marcos legales para eliminar dificultades en la inversión de eficiencia energética, además de presentar normativas más estrictas, como la disminución de consumo energético de calderos. Por ello, se fomenta incentivar a proyectos de construcción que modernicen los procesos actuales y se pueda mejorar el consumo energético necesario.

Para presentar propuestas de mejora en la eficiencia, es necesario iniciar por el levantamiento de las condiciones actuales de consumo o generación de energía. Granja-Salazar [2] desarrolló una investigación direccionada en eficiencia energética para una casa en Quito, buscando disminuir los pagos de consumo eléctrico mensual, ya que 260 kW·h tiene un costo de USD 60. El enfoque se direcciona al análisis de la situación geográfica y la construcción física, ya que la eficiencia energética estima los recursos mínimos requeridos para brindar confort al usuario. Mediante alternativas sencillas y de bajo costo, como el recubrimiento con lana de vidrio en paredes externas y techo, se redujo la necesidad de calefacción. De igual manera, el frente de la casa se direcciona al este, por lo que se sustituyó los ventanales por unos más oscuros, que absorban mayor calor y mantengan la temperatura por un período de tiempo prolongado. El estudio consideró el funcionamiento de los equipos eléctricos y electrodomésticos utilizados, reduciendo las emisiones de CO₂ de 17.5 a 10.6 kg/m² al año.

Actualmente, el sector de transporte está en presentación de alternativas sustentables a los medios convencionales. Paredes [3] estudió la influencia de la Ley de Eficiencia Energética

direccionada al transporte público. El consumo de diésel para 2017 fue de 1.2 billones de galones, representando 1.8 GW·h, aproximadamente, donde el transporte tiene el 84 % de este consumo. Los autobuses eléctricos inicialmente presentan un rendimiento de 0.93 km/kW·h, lo que representa una reducción de consumo de energía de 4.3 veces respecto a un autobús a diésel. En una proyección para 2025, se plantea el uso de autobuses híbridos, donde actualmente el suministro de energía por diésel y eléctrica es de 1022 y 237 GW·h, llegando a equilibrarse en 611 GW·h de demanda eléctrica dentro de 3 años. Por otra parte, en este mismo período de tiempo, también fue necesario analizar la demanda eléctrica de autobuses completamente eléctricos, donde se define que es posible llegar a suplir con este consumo, es decir, manteniendo las tendencias, para 2025 Ecuador será capaz de generar 35 008 GW·h.

Cao et al. [4] presentaron estrategias renovables y sostenibles para mejorar el ambiente térmico de los invernaderos solares chinos. Estos invernaderos contribuyen significativamente en la horticultura, por lo que se propusieron sistemas con uso de energía solar a modo de fuente auxiliar de energía térmica en la era invernal. Un sistema de almacenamiento fotovoltaico permitió controlar una temperatura interior del invernadero a 17.9 °C, con un incremento del 16 % respecto a la situación inicial. Además, se consideraron alternativas sustentables, como construir estos invernaderos 1 m por debajo del nivel de referencia para que la temperatura sea uniforme y se incremente la humedad relativa, además que las condiciones climáticas no tengan mayor impacto. Como complemento, también se instaló un techo corredizo y espacios ventilados en las paredes. La temperatura al interior del invernadero incrementó en 4.3 y 2.9 °C en días soleados y nublados, respectivamente, y la temperatura en la noche se mantiene en 10 °C, en promedio. De esta manera, se pudo controlar mejor la temperatura, mediante el suministro de calor únicamente cuando se requiere, mientras que, a temperaturas elevadas, se abre el invernadero al medio, para ventilar naturalmente en lugar de utilizar el sistema eléctrico de ventilación.

Un proyecto de implementación de energía solar considerando eficiencia energética dentro de Azogues fue presentado por Romo y Morales [5]. En Ecuador se tiene que el suministro de energía eléctrica es 79 y 21 % provisto por fuentes renovables y no renovables. El caso de estudio se dio en una institución de educación superior, con un consumo al mes de 36000 kW·h, para lo que se ha planteado un presupuesto estimado de USD 58 mil para la actualización a

iluminación LED y suministro fotovoltaico. De esta manera, se alcanzaría una reducción de 1500 toneladas de CO₂/kW·h y se ha realizado la comparativa con los incentivos europeos, donde si la eficiencia energética reduce una tonelada de CO₂ emitida, representa USD 0.37. Así se evidencia un ahorro de USD 5800 al año, mientras que, el tiempo para recuperar se estima en 3 años, siendo importante mencionar que el proyecto cuenta con financiamiento externo.

Siverio-Valle et al. [6] estudiaron la eficiencia energética residencial y comercial integrando tecnología LED y paneles fotovoltaicos. En América latina, se ha establecido que la participación de energías renovables hasta 2030 debe incrementarse en un mínimo de 24 %. La sustitución de luz LED es económica y genera un 11.2 % de ahorro energético, además de dejar de emitir 6645.7 toneladas de CO₂ a la atmósfera. Por otra parte, la integración de un sistema fotovoltaico implica una inversión inicial estimada en USD 200 mil, para obtener 141 MW·h, teniendo como ventaja principal que se dejarían de utilizar 40.5 toneladas de diésel. De esta manera, se contribuye en la mejora energética y el tiempo de recuperación se estima en seis años.

Akram et al. [7] analizaron la eficiencia energética relacionada a energías renovables con emisión de CO₂ en países en desarrollo. Se aspiraría para 2040 un consumo energético incrementado hasta el 48 %, siendo importante analizar si estos países están en capacidad de suplir la demanda energética sin impactos negativos al medio ambiente y a la sustentabilidad. Se han considerado países a nivel mundial, desde Argentina o Ecuador en América del Sur, México y República Dominicana en Centro América, Desde 2005 a 2016, hasta países asiáticos y africanos. Se han generado aproximadamente 197 proyectos relacionados a energías renovables, disminuyendo la emisión de 84 millones de toneladas de CO₂. Entonces, actualmente se buscan tratados y fuentes de inversión, ya que con un monto de USD 90 billones en proyectos de eficiencia energética, fue posible alcanzar un ahorro de USD 600 billones hasta el 2020.

Sun et al. [8] presentaron los beneficios de innovar tecnológicamente y la propagación del conocimiento hacia la eficiencia energética. Las emisiones de CO₂ representan el 70 % en el calentamiento de la superficie y ocasionado principalmente por un consumo excesivo de energía de los últimos 30 años. Un inconveniente significativo es la brecha tecnológica a nivel mundial,

ya que Estados Unidos y Japón abarcan el 60 % de los avances y desarrollos tecnológicos. Esto se evidencia en que, países latinoamericanos como Brasil, para 1994 tendía una eficiencia energética de 50 %, aproximadamente, mientras que Estados Unidos ya presentaba valores por encima del 90 %. Entonces, la eficiencia energética ha ido incrementándose y mejorando las condiciones, sin embargo, debido a la difusión del conocimiento, es que los países en desarrollo evidencian una mayor tendencia de mejora, que se muestra en la Figura 1.

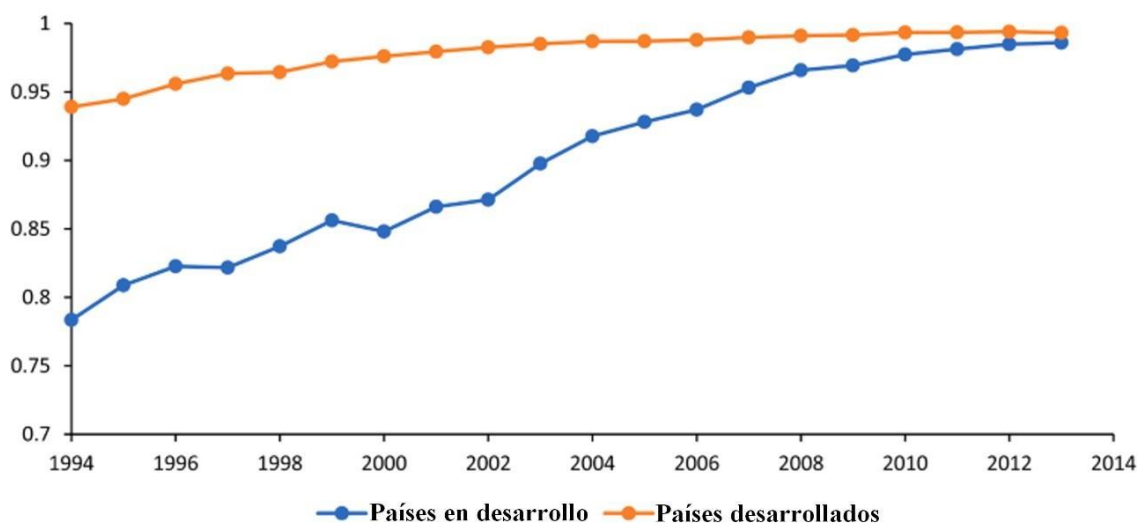


Figura 1. Cambios en la eficiencia energética de 1994 a 2013 [8].

1.2 Energía

Es la capacidad de efectuar un trabajo, conociendo que este trabajo es la fuerza que actúa en una distancia, siendo una magnitud escalar, que no tiene dirección [9]. Existe en varias formas y se pueden clasificar en diferentes tipos. La Figura 2 describe los principales tipos de energía, que pueden convertirse en diferentes procesos, siguiendo principios de conservación de energía.

Cinética	• La energía que posee un objeto debido a su movimiento
Potencial	• La energía almacenada que tiene un objeto debido a su posición o estado
Térmica	• La energía interna de un sistema debido a la energía cinética de sus partículas.
Química	• La energía almacenada en los enlaces químicos de las moléculas.
Eléctrica	• La energía asociada al movimiento de electrones.
Mecánica	• La suma de la energía cinética y potencial de un sistema.
Solar	• La energía del Sol en forma de radiación electromagnética.

Figura 2. Tipos de energía [9].

1.3 Termodinámica y transferencia de calor

La energía es estudiada en el contexto de los procesos térmicos y las transferencias de calor. La energía total asociada con las partículas en un sistema considera la energía de movimiento, su energía potencial y la energía asociada a interactividad entre ellas. En el análisis de la conversión de energía es importante definir al calor, como la energía térmica que se transfiere asociada al sistema y el medio circundante por el diferencial de temperatura [10]. En función de la aplicación o finalidad del sistema, también se considera el trabajo, ya sea ingresado o generado, como la transferencia de energía mecánica del sistema hacia el medio. Puede realizarse de diversas formas, como expansión o compresión de un fluido gaseoso, incremento de peso, entre otros [11].

Este análisis inicia considerando las leyes de la termodinámica, con el primer enunciado que indica, La energía total de un sistema aislado persiste constante, simplemente cambiar de forma entre trabajo y calor, pero la magnitud de energía no cambia. Con la misma importancia, todos los procesos termodinámicos se rigen a la segunda ley, en cualquier actividad natural, la entropía siempre aumenta, esto impone restricciones sobre la eficiencia de los procesos termodinámicos, ya que en todo proceso real existen irreversibilidades [12].

Por otra parte, es necesario comprender la manera en que la energía se maneja y se transfiere en sistemas térmicos. Entonces, es necesario considerar los medios de transferencia de calor, donde la conducción permite transferir calor mediante un medio estacionario por la conductividad de la energía térmica entre partículas contiguas [13]. El siguiente mecanismo es la convección, donde se transfiere calor por un flujo, ya sea líquido o gas, por el movimiento del fluido. Por último, está la radiación, donde se transfiere energía térmica en forma de ondas, siendo lo más común la luz o el calor solar [14]. La Figura 3 esquematiza un ejemplo práctico donde se evidencia la interacción de los medios para transferir calor.

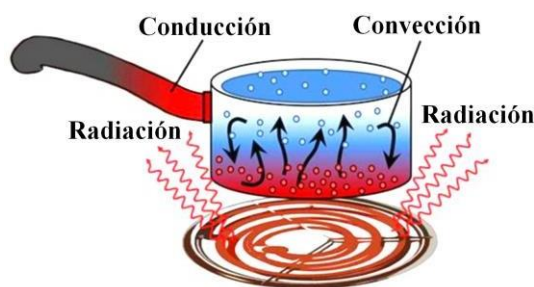


Figura 3. Medios de transferencia de calor [13].

1.4 Eficiencia energética

Relaciona la cuantía de energía aprovechada que se obtiene en el sistema o dispositivo y el monto energético total que introducida en ese sistema. Es decir, es una medida que compara la energía que se requieren en ejecutar una tarea específica con el total de energía consumida [15]. La eficiencia energética es indispensable en diversas aplicaciones, ya que afecta directamente la mejora de bienes y reduce los impactos ambientales. El desarrollo de tecnologías se dirige a mejorar este consumo energético, como es el caso de una bombilla incandescente utilizada para iluminación, donde 10 % de la energía, aproximadamente, se utiliza como luz, mientras que el 90 % que queda es disipada como energía térmica. Este análisis permitió evidenciar una eficiencia relativamente baja, por lo que actualmente se han remplazado con bombillas LED, que son más eficientes al generar más luz y menos calor con la misma cantidad de energía eléctrica consumida [16].

Un análisis de eficiencia energética debe considerar varios aspectos, con apuntando a la

reducción de costos de energía, principalmente eléctrica, para los consumidores y las empresas. Al tener menor desperdicio de energía también disminuye la demanda de recursos y existirá una menor emisión de contaminantes relacionados por generar energía [17]. Para el sector residencial, la eficiencia energética implica usar electrodomésticos, calefacción y refrigeración, iluminación, entre otros, que consumen menos energía. Mientras que, para el sector industrial, puede lograrse mediante la integración de tecnologías más recientes, procesos optimizados y el manejo adecuado de la energía. Entonces, la eficiencia energética es necesaria para alcanzar objetivos de sostenibilidad y disminuir la huella de carbono [18].

1.5 Norma ISO 50001

La Organización de Estandarización Internacional (ISO, por sus siglas en inglés) ha definido la norma ISO 50001 [19] donde se indican requerimientos de sistema de manejo energético eficaz. Brinda directrices dirigidas a que organizaciones definan políticas y procesos que optimen el rendimiento energético, aumenten la eficiencia y reduzcan costos que se vinculan con la energía. Está diseñada para que ayude a organizaciones para mejorar permanentemente un sistema de manejo energético [20].

Entre los procedimientos más importantes, las organizaciones deben identificar aspectos y los impactos energéticos significativos para desarrollar evaluación energética, así establecer propósitos de desempeño energético. Además, se deben establecer procesos para monitorear, medir y analizar regularmente la eficiencia energética y evaluar la aprobación política energética y objetivos [21]. La implementación de la ISO 50001 permite que instituciones mejoren la eficiencia energética y también su imagen institucional hacia la sustentabilidad, al disminuir costos y efectuar requisitos legales. Esta norma es aplicable a organizaciones de todo sector y su implementación puede ser un instrumento para gestionar eficazmente la energía [22]. La Figura 4 describe las actividades requeridas para implementar un sistema manejo energético.

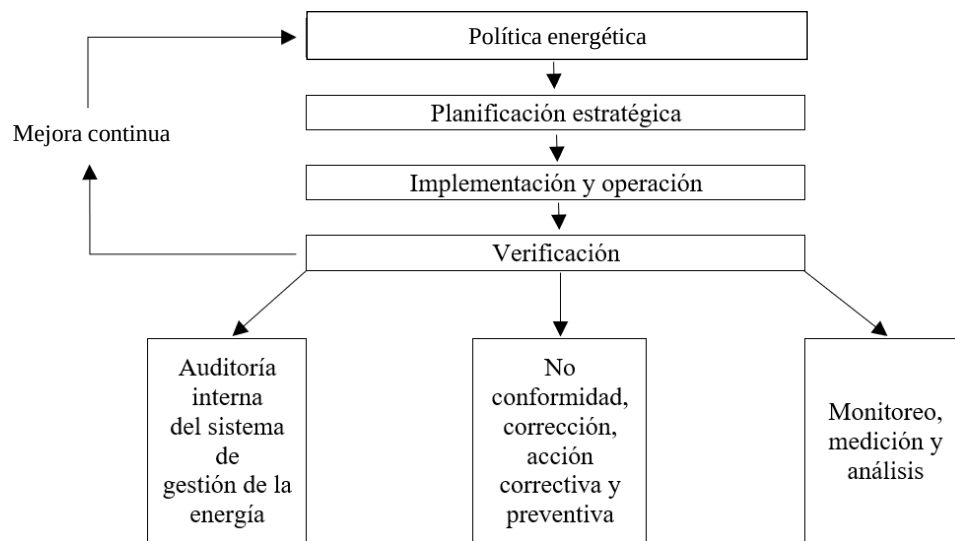


Figura 4. Culminación para sistemas de manejo energético [22].

1.6 Desarrollo sustentable

El desarrollo sustentable considera los procesos que buscan subsanar necesidades presentes sin comprometer recursos para las siguientes generaciones, satisfaciendo sus necesidades, abarcando aspectos económicos, sociales y ambientales [23]. De esta manera, se busca soluciones que no solo resuelvan problemas inmediatos, sino que también promuevan la resiliencia y la equidad, como la conservación de recursos naturales, aprovechamiento de energías renovables, agricultura sostenible, equidad social, entre otros. También es importante conocer la sostenibilidad, ya que implica la capacidad de un sistema para mantenerse a sí mismo sin agotar los recursos o dañar el entorno en el que opera [24].

El desarrollo sustentable es un camino hacia la sostenibilidad, con un enfoque específico que pretende equilibrar el progreso actual conservando recursos y la promoción del bienestar a largo plazo. La sostenibilidad se direcciona hacia un enfoque más amplio y holístico, considerando la capacidad de sistemas, comunidades y la biosfera en su conjunto para persistir y prosperar. Ambos conceptos son fundamentales para encontrarse los retos actuales de cambio climático y detrimento biodiverso. La implementación efectiva de prácticas sustentables y sostenibles es esencial para asegurar un futuro sustentable e igual para las generaciones futuras [25].

La eficiencia energética es necesaria en el desarrollo sostenible, ya que al mejorar el uso de la

energía tiene un impacto positivo en varios aspectos, abordando tanto preocupaciones medioambientales como socioeconómicas [26]. El aumento de eficiencia energética conlleva a disminuir consumos energéticos para realizar las mismas tareas, teniendo un descenso de emisiones de gases de invernadero asociadas con la generada. Puede contribuir a la equidad social al hacer que los servicios energéticos sean más accesibles y asequibles para comunidades de bajos ingresos. Esto puede incluir programas de eficiencia en viviendas, acceso a tecnologías eficientes y desarrollo de infraestructuras sostenibles. La integración de prácticas eficientes en el uso de la energía en todos los sectores es crucial para avanzar a la sustentabilidad, que equilibre los requerimientos en curso sin complicar las capacidades de generaciones a futuro [27].

La búsqueda de eficiencia energética requiere innovación y desarrollo tecnológico, más limpio y sostenible que, a su vez, promueve la adopción de tecnologías renovables y el avance hacia sistemas de energía más sostenibles [28]. Al aprovechar energía en forma más eficiente, que disminuye la necesidad de extraer y utilizar recursos naturales no renovables, como combustibles fósiles. Esto favorece a conservar recursos y mitigar el agotamiento de fuentes no renovables. La transición hacia prácticas y tecnologías más eficientes en energía puede generar empleo en sectores como la ingeniería, la manufactura y la instalación de tecnologías renovables y eficientes. Con esta mejora energética se reduce el agotamiento de recursos, minimizar la contaminación y aminorar el cambio climático utilizando la energía de manera más inteligente y sostenible [29]. La Figura 5 muestra los beneficios del análisis de eficiencia energética y su vínculo con el desarrollo sustentable.



Figura 5. Ventajas del análisis de eficiencia energética [29].

1.7 Energías renovables

Son energías obtenidas a partir de recursos disponibles en la naturaleza, virtualmente inagotables y que se refrescan de manera continua [30]. Respecto a combustibles fósiles, que son finitos y generan gases de efecto invernadero, estas energías son sostenibles y corteses con el ambiente. Las fuentes que proveen estos tipos de energía son fuentes naturales sin generación de emisiones significativas de gases de efecto invernadero en su operación, asistiendo a decrecer el impacto ambiental y atenuar el cambio climático. La tecnología y la eficiencia de estas energías sostenibles han avanzado con el tiempo, haciéndolas cada vez más competitivas en términos de costos y más accesibles para su implementación a gran escala. La combinación de energía renovable puede ayudar a transformar la matriz energética y aumentar la resiliencia del suministro de energía [31].

Aplicaciones comunes de energías renovables se encuentran en centrales hidroeléctricas, donde la energía en movimiento es utilizada para permitir el giro de paletas de la turbina, activando un generador para producir electricidad [32]. Otro aprovechamiento estas energías es cuando el viento hace girar las palas de una turbina eólica y esta rotación se transfiere a un generador que produce electricidad [33]. Por su parte, la energía solar es utilizada en dos aplicaciones

principales, mediante sistemas fotovoltaicos, convirtiendo luz solar hacia electricidad, y mediante sistemas térmicos, para el calentamiento de un espacio. Una tecnología de tendencia es el beneficio del hidrógeno, que se puede producir mediante electrólisis, un proceso en el que el agua se divide en oxígeno e hidrógeno utilizando electricidad. El hidrógeno resultante puede utilizarse como fuente de energía o como combustible [34]. La Figura 6 enlista las principales energías renovables utilizadas en producir energía eléctrica y energía térmica.

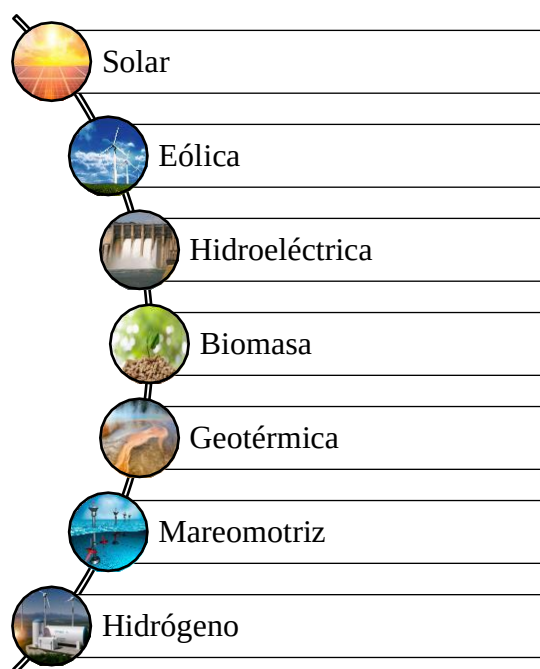


Figura 6. Tipos de energía sustentable [16].

1.8 Energía solar

Es una energía obtenida del sol, donde se aprovecha rayos solares para diversos fines, tanto directa como indirectamente. Es una energía renovable y sostenible, debido a que el sol emite grandes cantidades de energía convertida como radiación continua y virtualmente inagotable. La eficiencia energética para un sistema que utiliza la energía solar se maximiza mediante integración de sistemas que rastrean la posición del sol para mantenerse expuestos a máxima a radiación solar. Para los diferentes tipos de captadores de energía solar, la limpieza y mantenimiento adecuados se requieren para asegurar un rendimiento adecuado en el tiempo. Entonces, la eficiencia solar es la energía solar convertida en utilizable, ya sea eléctrica o térmica, con un determinado sistema o dispositivo. La eficiencia solar está en continuo análisis

debido a avances en tecnologías de células solares, materiales y métodos de fabricación [35]. Nuevos prototipos, como células solares de múltiples capas, células solares orgánicas y tecnologías emergentes pueden mejorar significativamente la eficiencia

1.9 Sistemas fotovoltaicos y térmicos

La energía solar es aprovechada en varias aplicaciones, como generación eléctrica, calentamiento de agua y espacios, iluminación, carga de dispositivos electrónicos y aplicaciones agrícolas, entre otras. Existen dos alternativas para aprovechar energía solar, en forma fotovoltaica y térmica. La energía fotovoltaica convierte de modo directo un haz solar en energía eléctrica mediante células fotovoltaicas. Las celdas, comúnmente fabricadas con silicio u otros materiales semiconductores, crean electricidad cuando los haces de luz solar impactan sobre ellas, liberando electrones y generando una corriente eléctrica [36].

La Figura 7 ilustra este proceso, donde la luz impacta inicialmente sobre una célula fotovoltaica y es absorbida por su componente principal de silicio. Los fotones incidentes provocan la liberación de electrones en el silicio, lo que eventualmente se traducirá en la generación de electricidad. Las celdas fotovoltaicas utilizan dos capas de silicio para establecer un campo eléctrico, un lado con una carga neta positiva debido al boro, mientras que el otro lado tiene una carga neta negativa por el fósforo. Una vez que se ha generado esta corriente, los electrones se transfieren a través de conductores para convertirse en electricidad y llegar a un inversor de corriente, permitiéndote así utilizar electricidad en forma de corriente alterna [37].

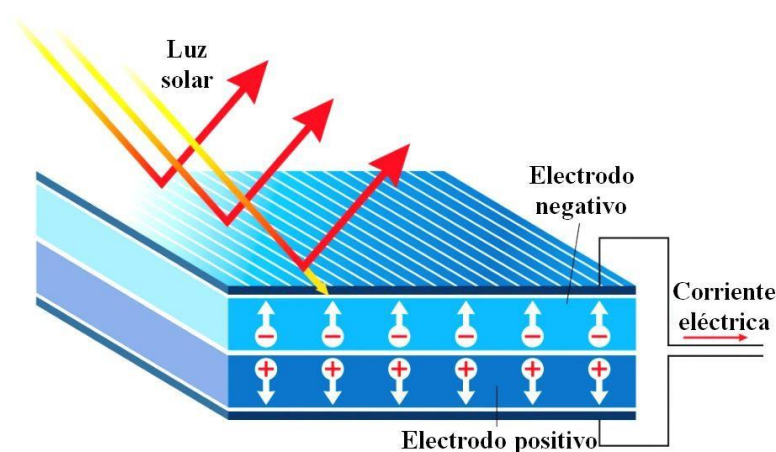


Figura 7. Funcionamiento de una celda fotovoltaica [37].

Los módulos fotovoltaicos, formados por múltiples celdas, se instalan en paneles solares y son utilizados en sistemas a pequeña escala, como instalaciones residenciales, o con mayor potencia, en plantas solares [38]. La Figura 8 esquematiza los componentes principales del panel solar fotovoltaico.

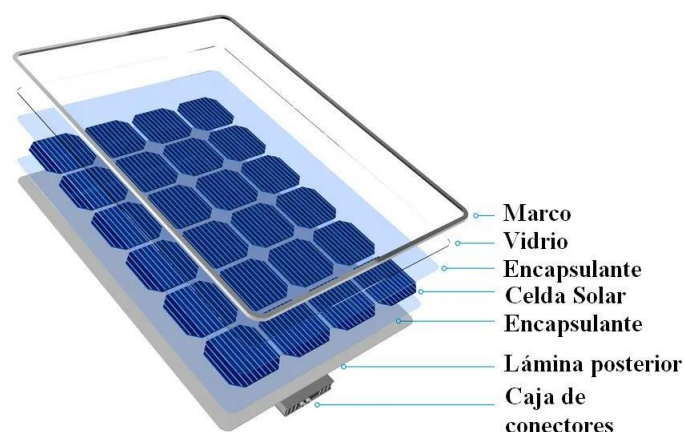


Figura 8. Componentes de un panel solar fotovoltaico [38].

Mientras que, la energía solar térmica busca la explotación de energía térmica que proporciona cada haz solar para la generación de calor. Los sistemas térmicos tienen colectores solares que calan esta energía y transfieren calor al fluido térmico que se utiliza como fluido de trabajo. El calor puede utilizarse de modo directo en calentar agua para sistemas de agua caliente, calentamiento de espacios o actividades industriales. También puede convertirse en electricidad mediante sistemas de impulso de energía solar térmica, aquí el calor es direccionado para generar vapor que induce turbinas enlazadas a generadores eléctricos [39].

La energía solar tiene un rol fundamental en paso a sistemas energéticos sostenibles, de baja emisión de carbono, por ser una energía renovable y atenta con el ambiente. Su uso disminuye la subordinación de los combustibles fósiles, mitigando el cambio climático [40]. Para sistemas solares fotovoltaicos, las baterías almacenan la energía para su uso durante períodos sin luz solar. Para los sistemas solares térmicos, la eficiencia del almacenamiento térmico es crucial para aprovechar la energía solar inclusive sin sol.

1.10 Colectores solares

El colector solar utiliza la incidencia de un haz solar para alzar temperatura del fluido de trabajo

utilizado para intercambiar calor y elevar la temperatura de un medio. Para un colector solar, la eficiencia es determinada por el calor transferido hacia el sistema en relación con la radiación solar recibida. Existen varios tipos de colectores solares, cada uno diseñado para aprovechar la energía solar de diferentes maneras. El colector con placa plana actualmente se ha convertido en el más comercializado para todo tipo de aplicaciones, y se utilizan principalmente para capturar radiación solar y calentar un fluido, con el propósito de calentar agua o espacios [41]. La Figura 9 muestra la composición del colector de placa plana, siendo importante mencionar que el diseño puede variar para diferentes aplicaciones, en el apartado del material de fabricación, la cubierta, la geometría de tuberías, entre otros.

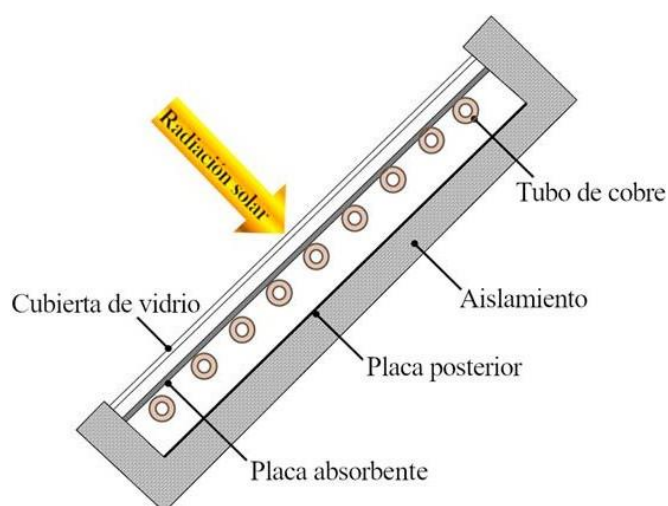


Figura 9. Colector de placa plana [41].

Otro captador es el colector de tubos de vacío, similar al tipo placa plana, pero con este tipo de tubos que reducen las pérdidas de calor y permiten un mejor rendimiento en condiciones climáticas variables. Tienen mayor eficiencia para captar radiación solar difusa y en días nublados, utilizados en calefacción y en sistemas de agua caliente [42]. La Figura 10 presenta la composición de un colector de tubos de vacío.

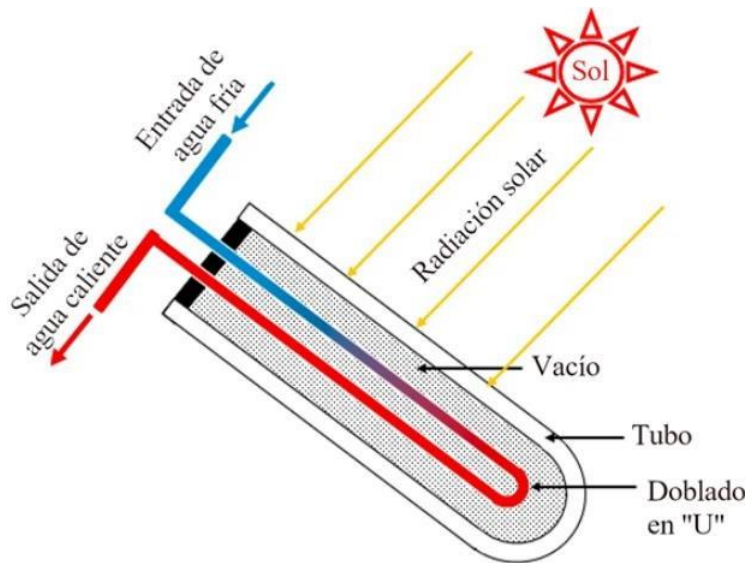


Figura 10. Colector tubos de vacío [42].

1.11 Sistemas de calentamiento de agua

Al tener impacto ambiental por el uso de combustibles y electricidad, se establece que esto varía según la fuente de energía específica, además de la manera de producción y consumo [43]. Un calentador de agua utilizado en el alza de temperatura del agua en aplicaciones domésticas o industriales. Estos dispositivos son esenciales para proporcionar agua caliente en viviendas, edificios comerciales y otros entornos donde se requiere agua caliente para fines sanitarios, de limpieza, calefacción o procesos industriales. Sin embargo, se presentan impactos ambientales al utilizar principalmente calentadores de agua que utilizan electricidad o consumen combustibles fósiles [44]. Los calentadores de agua a gas presentan dos alternativas, los que utilizan gas natural para suministro energético y otros que utilizan propano almacenado en tanques. Estos combustibles fósiles emanan CO_2 y gases de invernadero al quemarse, que inciden en el calentamiento global. El uso de combustibles fósiles también expone contaminantes, como dióxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, que transgreden la calidad de aire y salud humana.

Otra alternativa para el calentamiento de agua son los calentadores eléctricos, que se clasifican en dos tipos, de almacenamiento eléctrico, al calentar agua y almacenarla en un tanque para su uso posterior y los calentadores instantáneos, donde el agua es calentada al pasar a través de un elemento calefactor sin almacenamiento [45]. Si la electricidad se genera principalmente a partir de combustibles fósiles, los impactos asociados con emisiones y la contaminando el aire

también se aplicarán a la electricidad. Una alternativa sustentable son las plantas hidroeléctricas, aunque producen electricidad dejando de mandar gases de efecto invernadero, generan impactos ecológicos característicos, alterando ecosistemas de los ríos y la migración de especies acuáticas [46].

El aprovechamiento de estas energías es fundamental para propuestas tecnológicas, por lo que hay varias alternativas al uso de energías convencionales. Los calentadores de agua geotérmicos utilizan el calor almacenado en la tierra para calentar el agua, siendo eficientes y contribuyendo a la sostenibilidad [47]. Una alternativa eficiente es la bomba de calor, donde se aprovecha la energía térmica del aire o del suelo para calentar el agua. También se pueden presentar sistemas híbridos, que combinan la tecnología de bomba de calor con un sistema de respaldo, como un elemento calefactor eléctrico o un sistema de gas [48]. Es importante mencionar que la energía solar también es usada en calentar agua, mediante la capacidad de absorción de radiación solar térmica que tienen los colectores solares y la transfieren al agua.

1.12 Calentamiento de agua con energía solar

Se alcanza un mecanismo sostenible y eficaz de fructificar la energía del sol brindando agua caliente para aplicaciones diversas. Este proceso considera utilizar colectores solares térmicos, que reciben radiación solar y transfieren ese calor al agua [49]. Estos colectores son dispositivos presentes en techos expuestos al sol, teniendo dos alternativas en su diseño, planos o de tubos evacuados, a través de los cuales circula fluido de trabajo, agua o refrigerante, que absorbe el calor solar. Cuando la radiación trasgrede los colectores, los materiales absorbentes dentro de ellos convierten la energía solar en calor hacia un fluido circulante contenido en colectores. El fluido calentado fluye por tuberías hasta un intercambiador de calor o un depósito de almacenamiento, donde el calor del fluido se transfiere al agua que se utilizará. Los sistemas también pueden incluir dispositivos de control para asegurar que el agua almacenada alcance la temperatura deseada. Este proceso permite utilizar la energía solar para proporcionar agua caliente sin dependencia de energía convencional y para reducir gases de invernadero emanados, que generan calor desde combustibles fósiles [50].

Los sistemas para calentar agua que usan energía solar son más comunes actualmente, siendo uno de los más importantes el sistema de circulación natural o termosifón. Estos sistemas

aprovechan un diferencial de densidad entre el agua fría y caliente, calentada en los colectores solares y, debido a la diferencia de densidad, tiende a subir hacia el reservorio, a medida que el agua más fría desciende hacia los colectores, creando un flujo natural [51]. La Figura 11 muestra el proceso funcional del calentador con termosifón.

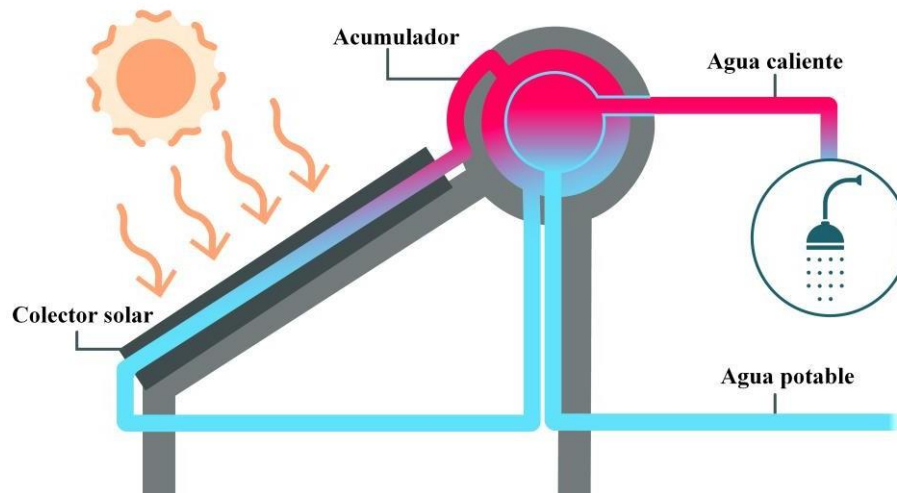


Figura 11. Sistema de calentamiento de agua de termosifón [51].

También existen sistemas que utilizan colectores solares de placa plana, paneles planos que absorben radiación solar, que son comunes en aplicaciones residenciales y comerciales, siendo importante mencionar que pueden ser de circulación natural o forzada [52]. Por otra parte, un sistema complemente forzado requiere de una bomba que permita la recirculación del fluido térmico, generalmente agua con glicol, entre colectores solares y reservorio. Esto permite un mayor control sobre la circulación del fluido y puede ser más eficiente en términos de transferencia de calor [53]. Un tubo evacuado se forma con tubos cristalinos al vacío concentrando radiación para el calentamiento de agua dentro del tubo. Tienen eficiencia incluso bajo condiciones de baja radiación solar y temperaturas frías, haciéndolos viables en zonas con climas variantes [54]. Actualmente, están en desarrollo sistemas de calentamiento solar que combinan e integran tecnología solar con sistemas convencionales de calefacción de agua. Pueden funcionar en conjunto con sistemas de respaldo, como calentadores de gas o eléctricos, para garantizar un suministro constante de agua caliente.

Los colectores solares parabólicos concentran un haz solar hacia un punto focal utilizando espejos parabólicos. Se utilizan para generar calor y transmitirlo al fluido de trabajo, teniendo

aplicaciones de alta generación, como en plantas solar, que generan electricidad [55]. Es viable integrar un disco parabólico como un reflector, como concentrador de haz solar en un receptor con forma de disco. Una variable de estos colectores es el diseño cilindro-parabólico, con geometría de canal parabólico que reúne luz solar hacia el tubo receptor central. La Figura 12 describe la estructura de un colector parabólico utilizado para el calentamiento del fluido de trabajo.

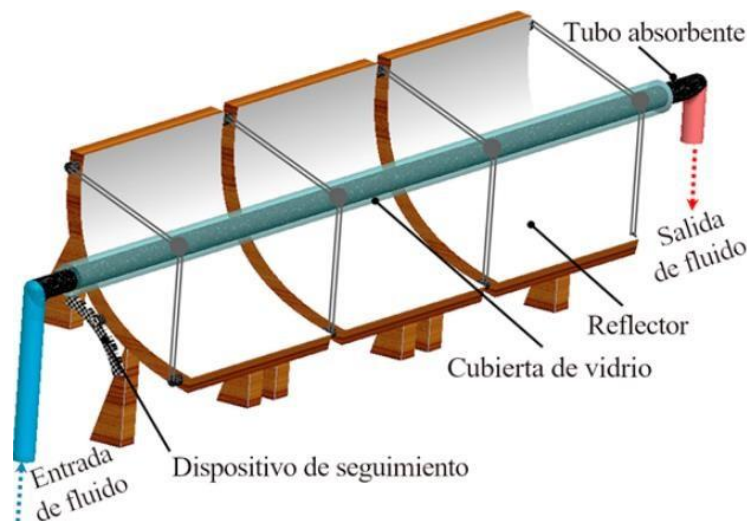


Figura 12. Sistema para calentar agua con colector solar cilíndrico-parabólico [55].

1.13 Selección de alternativas

Los colectores solares parabólicos han sido analizados por desarrolladores industriales e investigadores académicos. Estos colectores se utilizan ampliamente en aplicaciones de energía solar térmica, principalmente para suministrar rangos de temperatura bajos a intermedios, de 20 °C a 120 °C [56]. Sin embargo, es necesario implementar colectores con alta reflectividad para aprovechar al máximo la emisión incidente y, por lo tanto, producir valores de alta temperatura. La Tabla 1 describe las características de varios sistemas para calentar agua utilizando colectores solares.

Tabla 1. Revisión de los colectores utilizados para calentar agua.

Tipo de colector	Temperatura alcanzada [°C]	Nivel tecnológico	Eficiencia térmica [%]	Observaciones
Placa plana [57]	25 – 100	Alto	45 – 60	Aplicaciones a gran escala Fácil de dañarse
Tubo de vacío [58]	50 – 200	Alto	30 – 60	Temperatura de operación elevada Alto costo de implementación Sobrecalentamiento
Parabólico [59]	60 – 250	Medio	60 – 80	Alta eficiencia Aplicaciones en proyectos pequeños
Cilindro parabólico [60]	60 – 300	Medio	40 – 60	Bajo costo inicial Sin necesidad de seguidor solar Altas pérdidas de transmitancia
Campo de heliostato [61]	100 – 1500	Medio	50 – 70	Alta eficiencia de conversión Espacio requerido considerablemente grande

Con este análisis luego de revisar la literatura, en la Tabla 2 se plantea una ponderación para determinar la mejor alternativa. Se ha considerado una escala de 1 a 3 puntos, siendo 3 la calificación pertinente si se considera la más adecuado y disminuyendo este valor a medida que se evidencian falencias.

Tabla 2. Ponderación de alternativas

Parámetro	Placa Plana	Tubos de Vacío	Cilindro Parabólico
Temperatura final	2	3	3
Facilidad de construcción	1	1	3
Eficiencia	2	2	2
Costos	3	2	2
Ponderación	8	8	10

De esta manera, se plantea como alternativa utilizar un colector cilindro-parabólico para calentar agua, debido a que su implementación no es compleja y tampoco se requiere espacios sumamente amplios. También se destaca la importancia de presentar costos de implementación relativamente bajos y no se necesita de un seguidor solar. A pesar de que las pérdidas de calor son considerables, al ser un mecanismo expuesto al medio, sin ningún tipo de cubierta o aislante, se ha mostrado que es posible alcanzar eficiencias sumamente altas, incluso del 80 %.

CAPÍTULO II

DESARROLLO METODOLÓGICO DE LA PROPUESTA

2.1 Situación actual

Para numerosas aplicaciones industriales y comerciales el proceso para calentar agua es un esencial. Para este caso de estudio, se ha analizado un sistema de calentamiento de agua implementado mediante una caldera pirotubular vertical. Esta tecnología es fundamental para la generación de vapor que, a su vez, se utiliza en diversos procesos industriales. Se abordarán aspectos fundamentales del sistema, desde su composición y funcionamiento hasta la gestión del combustible y el control de parámetros críticos. La caldera en cuestión es de tipo pirotubular vertical, con una capacidad de 20 BHP y 25 tubos para la combustión. La elección de esta configuración implica la optimización de la transferencia de calor, permitiendo una eficiente generación de vapor. Es crucial destacar que la caldera opera con diésel como combustible, suministrado a través de un tanque de 200 L, con un tiempo de vida útil estimado en 9 años. La Figura 13 muestra el caldero que actualmente es usado para calentar agua y generar vapor.



Figura 13. Caldero de la Quesera Artesanal “San Sebastián”.

El sistema inicia su funcionamiento mediante un proceso de encendido controlado por un encendedor automático, garantizando una puesta en marcha segura y eficiente. El diésel suministrado al sistema se quema en la cámara de combustión, generando calor que es transferido a través de los tubos pirotubulares inmersos en el agua circundante. Se destaca que el caldero opera durante 7 horas diarias, consumiendo aproximadamente 20 litros de diésel en este período. Este dato resulta fundamental para evaluar la eficiencia energética del sistema y plantear estrategias de mejora, además del costo operativo. La bomba del reservorio de agua introduce continuamente el agua en una cámara de combustión, que absorbe calor generado. Mientras el agua se calienta, llega a convertirse en vapor, el cual ocupa la parte superior de la caldera para su posterior utilización. Este proceso es esencial para generar vapor, fundamental en numerosas aplicaciones industriales, iniciando con producir energía hasta procesos de manufactura. La Figura 14 muestra la alimentación de diésel, un combustible fósil, hacia el caldero.



Figura 14. Uso de combustibles fósiles y la conexión hacia el caldero.

Un elemento importante en el funcionamiento eficiente de este sistema es el control sobre la presión y la temperatura. La gestión adecuada de estos parámetros es esencial para evitar

situaciones de riesgo y asegurar el área para operarios y también en infraestructura. Se destaca la implementación de un control continuo para asegurar el cumplimiento de las condiciones óptimas de operación, respaldando así un rendimiento fiable y seguro. El sistema para calentar agua con un caldero pirotubular vertical de marca nacional es un componente crítico en diversas aplicaciones industriales. Su diseño eficiente, combinado con un control preciso y un suministro de combustible bien gestionado, asegura un funcionamiento confiable y seguro. Sin embargo, es imperativo que se continúe con un monitoreo constante y evaluaciones periódicas que evalúen eficiencia energética y extender la utilidad. La mejora continua en términos de tecnología y prácticas operativas es esencial para enfrentar los desafíos cambiantes del panorama industrial. La Figura 15 evidencia el tanque reservorio de agua, con unas dimensiones de 650 x 400 mm.



Figura 15. Tanque reservorio de agua.

Los calderos pirotubulares verticales son fundamentales en la generación de vapor mediante la combustión de diésel. Se detalla las partes principales de este sistema, desde la cámara de combustión hasta el escape de gases, destacando la función fundamental de cada componente en el calentamiento y al generar vapor. En el corazón del sistema se encuentra la cámara de

combustión, donde tiene lugar la quema controlada del diésel. Este espacio genera calor a través de la combustión, un paso fundamental para la posterior elevación de temperatura en el agua y generar vapor. Los tubos pirotubulares atraviesan la cámara de combustión y son expuestos al intenso calor generado por la combustión. Estos constituyen las tuberías, la estructura principal para transferir calor. El agua circula alrededor de estos tubos, absorbiendo el calor y transformándose en vapor. El agua que alimenta la caldera circula alrededor de los tubos pirotubulares. El vapor resultante se acumula en la parte superior del caldero y se extrae para su aplicación en procesos industriales o sistemas de calefacción. La Figura 16 muestra las líneas de ingreso de agua al caldero en la parte central, mientras que en la parte superior se tiene la salida de vapor, a través de una tubería de acero galvanizado de 12.7 mm.



Figura 16. Línea de ingreso de agua y salida de vapor al caldero.

El sistema de control, equipado con componentes como termostatos, interruptores y controladores, regula la temperatura y la presión del sistema. Este conjunto asegura un funcionamiento garantizado, mejorando el rendimiento de la caldera. La seguridad del sistema se garantiza mediante la válvula de seguridad, un dispositivo que se activa automáticamente para liberar vapor en caso de que la presión en la caldera alcance niveles peligrosos, evitando

así posibles accidentes. El quemador desempeña un papel crucial al pulverizar y quemar el combustible diésel en la combustión. La eficacia incide en rendimiento global para este sistema y en la cantidad de energía. Los gases de combustión van hacia el escape, un componente vital que asegura la eliminación adecuada de los subproductos de la combustión fuera de la cámara, asistiendo a conservar la eficiencia y la integridad del sistema. La alimentación de combustible es gestionada por un sistema dedicado, que incluye bombas de combustible, válvulas y otros dispositivos. Estos regulan el monto de diésel ingresado a la cámara de combustión, optimizando así el proceso de generación de calor. La Figura 17 muestra la condición de los dispositivos de control de flujo y del tablero de control.

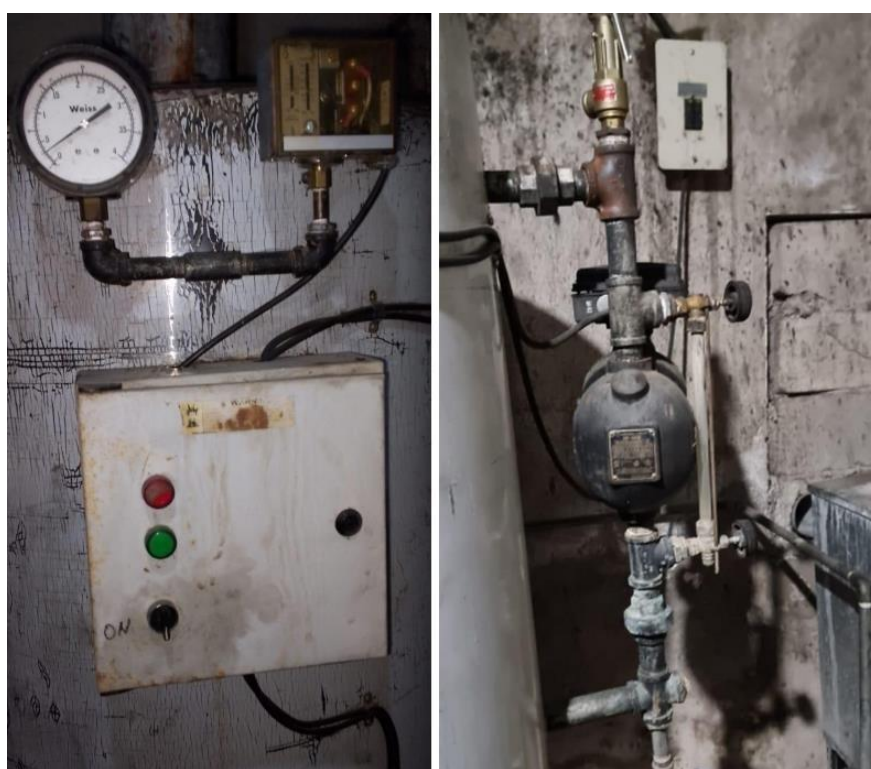


Figura 17. Dispositivos de control eléctrico y de distribución de flujo.

La carcasa, estructura externa de la caldera, no solo protege, sino que también contiene los componentes internos. Su diseño es clave para la durabilidad y la seguridad operativa del sistema en su conjunto. Cada componente del caldero pirotubular vertical contribuye de manera esencial para generar vapor mediante la combustión de diésel. La comprensión detallada de estas partes no solo es crucial para la eficacia del sistema, sino también para garantizar seguridad y longevidad del equipo. La continua innovación y mejora en estos elementos son

esenciales para enfrentar los desafíos cambiantes de la industria y mantener la relevancia y eficacia de estas tecnologías en el panorama energético actual.

2.2 Ángulos solares

Existen configuraciones geométricas respecto un plano en cualquier posición hacia la Tierra en cualquier momento y la incidencia del flujo de radiación solar se explican mediante la utilización de diversos ángulos [62]. La Figura 18 esquematiza la disposición de los ángulos solares.

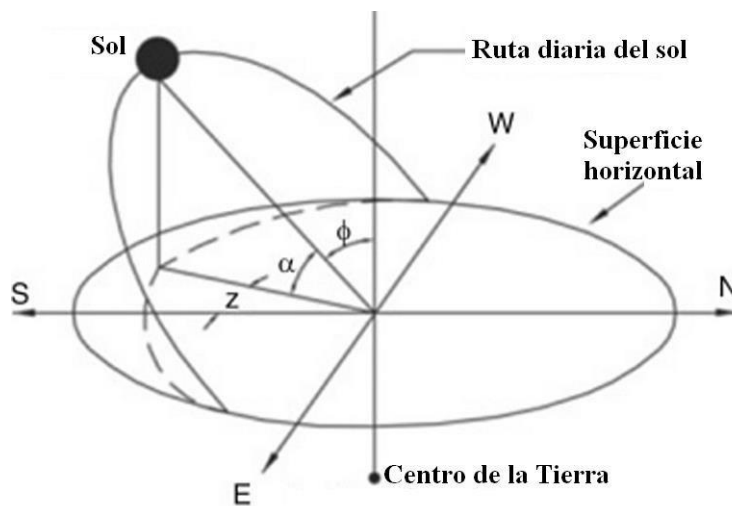


Figura 18. Ángulos solares [62].

La Latitud (ϕ) hace referencia a una posición angular, al norte (positiva) y sur (negativa) respecto al ecuador, entre -90 a 90° . La radiación solar directa es recibida llega como un haz vertical sobre la superficie, entonces la latitud y tiene significancia extensa en el valor de radiación. La Declinación (δ) es la ubicación angular del sol en la hora pico, mediodía, cuando el sol se ubica en el meridiano, considerando el ecuador, con magnitud positiva hacia el local, ante el ecuador, positivo al norte, tomando valores entre -23.45° a 23.45° , y se calcula con la ecuación de Cooper [63]:

$$\delta = 23.45 \sin \left(360^\circ \frac{284 + N}{365} \right) \quad (1)$$

Donde:

N : Día del año, 1 para 01/01 y 365 para 31/12

El ángulo horario (ω) indica variación del sol hacia oriente y occidente desde el meridiano local, por el desplazamiento rotacional terrestre, con magnitud positiva a la mañana y negativa a la tarde. Contreras et al. [64] lo calculan en función de la hora local solar con la ecuación (2):

$$\omega = 15(H_s - 12) \quad (2)$$

Donde:

H_s : Hora solar (de 1 a 24)

Los rayos solares requieren aproximadamente cuatro minutos para atravesar cada grado de longitud. Según la metodología propuesta por Salas-Reyes et al. [65], la hora solar se obtiene mediante la ecuación (3):

$$H_s = H_L + ET \pm 4 \cdot (L_s - L_M) \quad (3)$$

Donde:

H_L : Hora local

L_s : Longitud de ubicación

L_M : Longitud de meridiano cercano

La variación en el tiempo, conocida como ecuación del tiempo (ET), se debe a la rapidez que tiene la órbita terrestre en un año, lo que resulta en pequeñas variaciones entre la hora solar (H_s) y la hora marcada por un reloj. Para calcular este valor, Aranguri-Cayetano et al. [66] utilizaron la ecuación (4):

$$ET = 9,87 \sin(2 \cdot B) - 7,53 \cos(B) - 1,5 \sin(B) \quad (4)$$

El valor de B depende del día del año, obtenido con la ecuación (5) [66]:

$$B = (N - 81) \frac{360}{364} \quad (5)$$

El ángulo de inclinación (β) se genera con el plano superficial analizado y una línea horizontal. Según Díaz-Santos et al. [67], su cálculo puede llevarse a cabo mediante la ecuación (6):

$$\beta = |\varphi - \delta| \quad (6)$$

Otros ángulos que afectan la radiación incluyen el ángulo azimuth (γ), que representa la varianza proyectada al plano normal y un área al considerar un meridiano local [68]. El ángulo de incidencia (θ) es definido por un haz solar y la normal una superficie. Además, existen ángulos que facilitan la interpretación al cielo, comenzando con el ángulo zenith (z), entre una vertical y el haz solar [69]. También está un ángulo de altitud solar (ϕ), que, entre el plano horizontal y un haz solar, siendo el complemento del ángulo zenith. La relación que vincula estos ángulos es [70]:

$$\sin \phi = \cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (7)$$

El ángulo azimuth solar (γ_s) define un movimiento circular desde el sur dirigido del haz de radiación en un plano horizontal y para Etukudor et al. [71] es obtenido con la ecuación (8)

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \phi} \quad (8)$$

Existen varias relaciones importantes entre los ángulos descritos, que se presenta como [72]:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (9)$$

La cantidad de horas al día de luz solar se obtiene con la ecuación (9) [73]:

$$D = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (10)$$

La hora a la que el sol sale (S_{rise}) y de puesta (S_{set}) dependen de la luz solar al día, y pueden ser obtenidas con las siguientes ecuaciones [74]:

$$S_{rise} = 12 - 0.5 \cdot D \quad (11)$$

$$S_{set} = S_{rise} + D \quad (12)$$

El ángulo horario de puesta de sol (ψ) también es aplicado en los cálculos de radiación solar, siendo obtenido por Makenzi et al. [75] con la ecuación (13):

$$\psi = -\tan \varphi \leftrightarrow \tan \delta \quad (13)$$

2.3 Radiación solar

Las estimaciones matemáticas se basan en niveles teóricos de radiación, representando los valores que podrían ocurrir sin la presencia atmosférica. En un determinado estado, un haz solar incidente en el plano del espacio exterior se describe mediante la ecuación (14) [76]:

$$G_x = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360N}{365} \right) \right] \cos(z) \quad (14)$$

Donde:

G_x : Radiación exterior medida

N : Día del año, 1 para 01/01 y 365 para 31/12

z : Ángulo zenith

G_{sc} : Constante

La Asociación Americana de Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) creó un espectro referencia AM0 [77] utilizando datos provenientes de satélites, misiones, telescopios y modelos de radiación solar para determinar esta constante solar actualizada de 1366.1 W/m². La radiación en la superficie horizontal es calculada integrando la ecuación (14) en salida y ocultamiento del sol. De esta manera, Gutiérrez-Trashorras et al. [78] plantearon la ecuación (15):

$$I_x = 24 \frac{3600}{\pi} \frac{G_x}{\cos(z)} \left(\cos \varphi \cos \delta \sin \psi + \frac{\pi}{180} \psi \sin \varphi \sin \delta \right) \quad (15)$$

Donde:

I_x : Radiación exterior al día

La magnitud de claridad (k_T) es la proporción entre la radiación media en una superficie y la exterior. La definición del índice medio de claridad expresada en la ecuación (15) [79]:

$$k_T = \frac{I}{I_x} \quad (16)$$

Donde:

I : Radiación solar al día

Los colectores solares se instalan inclinados, para aumentar la energía que absorben y que la reflectancia se reduzca. La radiación expresada indica una magnitud predominante en radiación global [80]. La Figura 19 describe el modelo isotrópico difuso, que señala que la radiación total sobre un área con inclinación angular θ con respecto a un plano, tiene componentes de radiación emitida, difusa y reflejada.

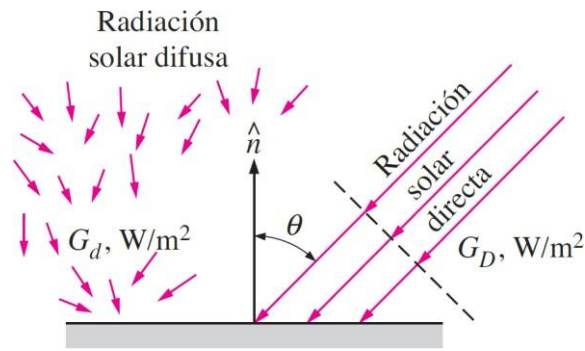


Figura 19. Radiación en un plano [80].

La radiación difusa (I_d) considera los puntos descritos en la Tabla 2.

Tabla 3. Radiación difusa [81].

ψ	I_d / I	k_T
$\leq 81.4^\circ$	0.143	≥ 0.715
Si $k_T < 0.715 \rightarrow$	$\frac{I_d}{I} = 1 - 0.2727k_T + 2.4495k_T^2 - 11.9514k_T^3 + 9.3879k_T^4$	
$> 81.4^\circ$	0.175	≥ 0.722
Si $k_T < 0.722 \rightarrow$	$\frac{I_d}{I} = 1 - 0.2832k_T + 2.5557k_T^2 - 0.8448k_T^3$	

La ecuación (19) permite calcular la radiación total (I_T) [81]:

$$I_T = I \cdot R_B + I_d \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (I + I_d) \cdot \rho_o \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (19)$$

La reflectancia (ρ_o) tiene un valor que oscila entre 0.20 y 0.25, tomando en cuenta la reflectancia en las superficies. El valor R_b vincula la radiación que se manda a la superficie con inclinación y plana. La ecuación (20) fue aplicada por Placco et al. [82] para calcular este factor:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta} \quad (20)$$

La atmósfera emite radiación, sin embargo, su temperatura no es constante, por lo que el análisis se lleva a cabo considerando una temperatura ficticia, conocida como la temperatura de la atmósfera (T_{cielo}), obtenida con la ecuación (21) [83]:

$$T_{cielo} = 0.0552 \cdot T_{\infty}^{1.5} \quad (21)$$

Donde:

T_{∞} : Temperatura ambiente

Por tanto, para Qi et al. [84] esta emisión de radiación atmosférica es obtenida con la ecuación (22):

$$I_{cielo} = \sigma \cdot T_{\infty}^4 \quad (22)$$

Donde:

σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($5.6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$)

Cuando un haz solar incide en el área de un objeto, una parte se refleja, otra se absorbe y una tercera se transmite por un cuerpo. La radiación reflejada es denominada reflectividad (ρ), la parte de magnitud de energía absorbida se llama absorptividad (α) y la energía que atraviesa el cuerpo se conoce como transmisividad (τ). Estas tres magnitudes están interrelacionadas a través de la ecuación (23) [85]:

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (23)$$

2.4 Colector solar parabólico

2.4.1 Transferencia de calor

La Ley de Fourier presenta un calor transferido por un material sólido. Fue propuesta por el físico francés Joseph Fourier y define que este calor transferido ($Q_{conducción}$) a lo largo de un cuerpo es proporcional su área transversal, a un gradiente de temperatura y un coeficiente conductivo del material. Se aplica a la transferencia de calor estacionaria y unidireccional en materiales sólidos. Sin embargo, en situaciones más complejas, como transferencia de calor bidireccional o no estacionaria, pueden requerirse formulaciones más avanzadas de las ecuaciones de calor transferido. Matemáticamente, la ley se presenta mediante la ecuación (24) [86]:

$$Q_{conducción} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (24)$$

Donde:

k : Coeficiente conductivo del material

A : Área transversal del material en dirección del flujo

dT/dx : Gradiente de temperatura

La señal negativa en la ecuación indica que el calor tiene flujo proveniente de regiones de temperatura con mayor magnitud dirigido a regiones de baja temperatura.

La Ley de enfriamiento de Newton describe el flujo cedido considerando el cuerpo a través de la convección con su entorno. Fue propuesta por Sir Isaac Newton y define que esta pérdida de calor ($Q_{convección}$) del cuerpo es conforme al diferencial de temperatura del cuerpo y ambiente, con coeficiente transferencial de calor que depende de las propiedades del fluido y del medio circundante. Esta ley es válida en situaciones donde la principal forma de calor transferido es la convección, que vincula el desplazamiento de un fluido, sobre la superficie del objeto. Es especialmente útil en situaciones donde la convección es predominante y la temperatura del objeto no varía significativamente a lo largo del tiempo. La ley de enfriamiento de Newton es determinada con la ecuación (25) [87]:

$$Q_{convección} = h \cdot A \cdot (T_{sup} - T_{\infty}) \quad (25)$$

Donde:

h : Coeficiente convectivo

T_{sup} : Temperatura superficial del cuerpo

T_{∞} : Temperatura ambiente

La Ley de Stefan-Boltzmann describe la manera en que la energía luminosa por cada unidad de tiempo del cuerpo negro y su temperatura absoluta se relacionan. Es fundamental para entender la radiación térmica y fue desarrollada por los físicos Stefan y Boltzmann, aplicada mediante la ecuación (26) [88]:

$$Q_{radiación} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{sup}^4 - T_{\infty}^4) \quad (26)$$

Donde:

ε : Emisividad del material

2.4.2 Eficiencia del colector solar

Abarca la capacidad del sistema para reunir la luz incidente en el punto óptico de la parábola, donde se encuentra el tubo absorbedor. Una eficiencia óptica alta significa que el sistema puede concentrar eficientemente el haz solar del receptor, maximizando así la cantidad de energía capturada. Una eficiencia óptica del 100 % significaría que toda la tasa de radiación recibida en el área de apertura se concentra en el foco. Sin embargo, en la práctica, hay pérdidas debido a factores como la reflexión, la dispersión y la calidad de la superficie reflectante [89]. Para mejorar este parámetro de un colector solar parabólico, se pueden utilizar diferentes estrategias, como mejorar la calidad y reflectividad de los materiales utilizados, minimizar las pérdidas por reflexión, y optimizar la forma y la orientación de la parábola incrementando la recepción de la luz solar. Según Cheng et al. [90], la eficiencia óptica (η) se calcula con la ecuación (27):

$$\eta_{\text{óptica}} = \frac{A_{\text{apertura}}}{A_{\text{geométrica}}} \quad (27)$$

Donde:

A_{apertura} : área efectiva de apertura del colector, a través de la cual entra la luz solar.

$A_{\text{geométrica}}$: área geométrica del colector, que describe la apertura del colector.

La eficiencia experimental de un colector solar parabólico implica realizar mediciones en condiciones del mundo real para evaluar su rendimiento. Ahmadi et al. [91] calculan la eficiencia térmica del colector utilizando la ecuación (28):

$$\eta_{\text{óptica}} = \frac{\dot{Q}_{\text{útil}}}{Q_{\text{radiación solar}}} \quad (28)$$

Se analizan las pérdidas térmicas y otras posibles pérdidas en el sistema, como las pérdidas por reflexión o conducción térmica, para identificar áreas de mejora. El calor útil ($Q_{\text{útil}}$) puede calcularse a partir del diferencial de temperatura del fluido, el caudal másico y su capacidad calorífica específica, mediante la ecuación (29) [92]:

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_f - T_i) \quad (29)$$

Donde:

$\dot{m}$: Flujo másico

c_p : Calor específico

T_f : Temperatura de agua cuando sale del colector

T_i : Temperatura de agua cuando ingresa al colector

El calor transferido por radiación atmosférica al colector en un sistema solar puede describirse utilizando los principios de radiación térmica. La radiación es la energía transferida como de ondas electromagnéticas por el diferencial de temperatura entre dos cuerpos. En el contexto de un sistema con asistencia solar, la radiación del cielo es una fuente de energía que puede contribuir al calentamiento del receptor. La radiación del cielo generalmente se compone de radiación difusa y de cuerpos celestes, como la que emite la atmósfera y nubes [93]. El calor transferido por radiación desde el cielo al receptor puede describirse mediante la Ley de Stefan-Boltzmann y de Lambert-Beer. Estas leyes son fundamentales para la radiación térmica y se aplican a cuerpos negros o a superficies que emiten y absorben radiación de manera eficiente. El calor por radiación ($Q_{\text{radiación}}$) es calculado aplicando la ecuación (30) [94]:

$$\dot{Q}_{\text{radiación}} = I_{\text{cielo}} \cdot \eta_{\text{óptica}} \cdot A_{\text{apertura}} \quad (30)$$

2.5 Diseño del sistema de calentamiento de agua

2.5.1 Parábola

Una parábola es una forma geométrica formada al intersecar un plano con un cono cuando el plano es paralelo a una de las generatrices del cono. La parábola es conocida por ser la curva que resulta de cortar un cono de manera oblicua, pero también puede definirse algebraicamente mediante una ecuación cuadrática. La ecuación de una parábola vertical orientada hacia arriba es [95]:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (31)$$

Donde:

a, b, c : Constantes
 x : Variable independiente
 y : Variable dependiente

La ecuación de la parábola vertical orientada hacia arriba con su vértice en el origen $(0, 0)$ se simplifica y se presenta mediante la siguiente ecuación:

$$y = ax^2 \quad (32)$$

El foco de una parábola consta con características geométricas y ópticas específicas vinculadas a la forma de la parábola. La posición del foco se relaciona con la ecuación de la parábola. El foco está a una distancia de $1/4a$ respecto al eje y positivo [96]. La Figura 15 describe el posicionamiento del foco en una parábola.

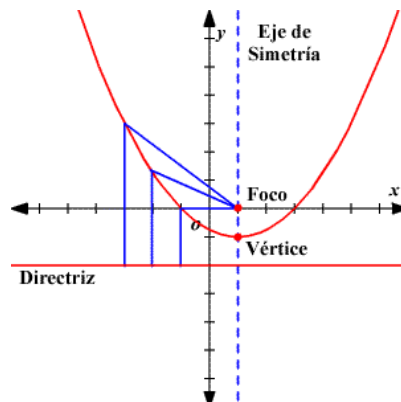


Figura 20. Foco de una parábola [96].

2.5.2 Modelado

El proceso inició considerando geometrías de referencia de investigaciones previas, para establecer el diámetro de la tubería y las dimensiones del colector solar. La Figura 21 muestra el sistema para calentar agua con colector solar parabólico.

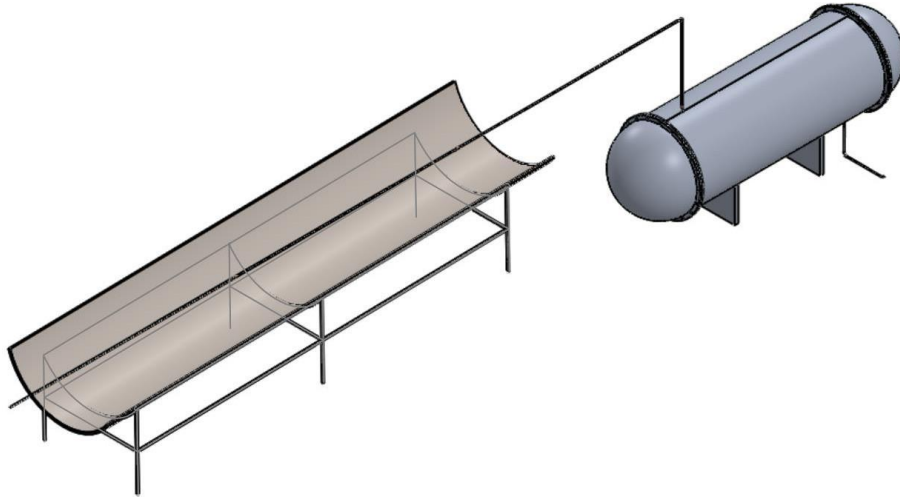


Figura 21. Modelado del sistema para calentar agua con colector solar parabólico.

La Figura 22 enlista las partes que componen este sistema de calentamiento. El tanque de almacenamiento es de acero inoxidable con una capacidad de 2.5 m^3 , soldado longitudinalmente y con uniones de bridas en los extremos. Se utilizó tubería de acero galvanizado de 12.7 mm (1/2 plg) con diámetro y de 1 mm de espesor, utilizando uniones y codos para la conducción de flujo. Se instaló una válvula de salida abajo del tanque, en el desfogue de agua caliente. El colector parabólico consiste en una plancha de acero inoxidable de 3 mm de espesor y 6 m para longitud, con radio de curvatura de 760 mm.

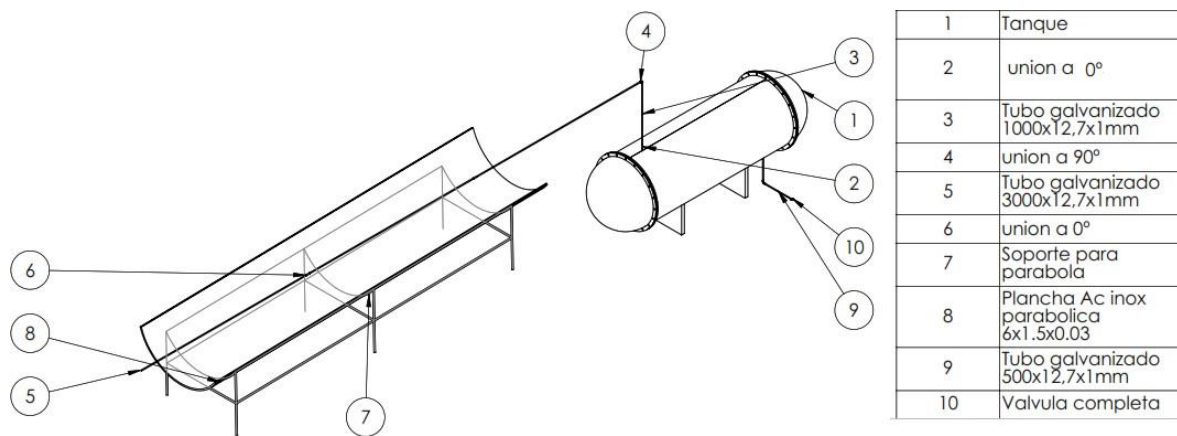


Figura 22. Partes del sistema para calentar agua con colector solar parabólico.

2.5.3 Condiciones iniciales

Para la definición de las condiciones iniciales, se utilizó un medidor de caudal para conocer el flujo al que circula el agua que es suministrada. De esta manera, al considerar el principio de conservación de materia, se estableció 0.1 kg/s en la entrada a la tubería a temperatura ambiente de 20 °C, mostrado en la Figura 23.



Figura 23. Definición de flujo másico del agua.

En estos últimos años, y en particular para 2024, se han registrado los niveles de radiación más altos en la historia, no solamente en Ecuador, sino a nivel mundial. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) [97] definió a las provincias de Pichincha e Imbabura como zonas donde hay más incidencia solar, particularmente para el mes de marzo donde se

realizaron investigaciones experimentales para la recopilación de información. Para generación eléctrica, el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) [98] presentó el Atlas Solar de Ecuador, donde se presenta una estimación mensual para radiación solar, difusa, incidente y global. La Figura 24 presenta los resultados para marzo.

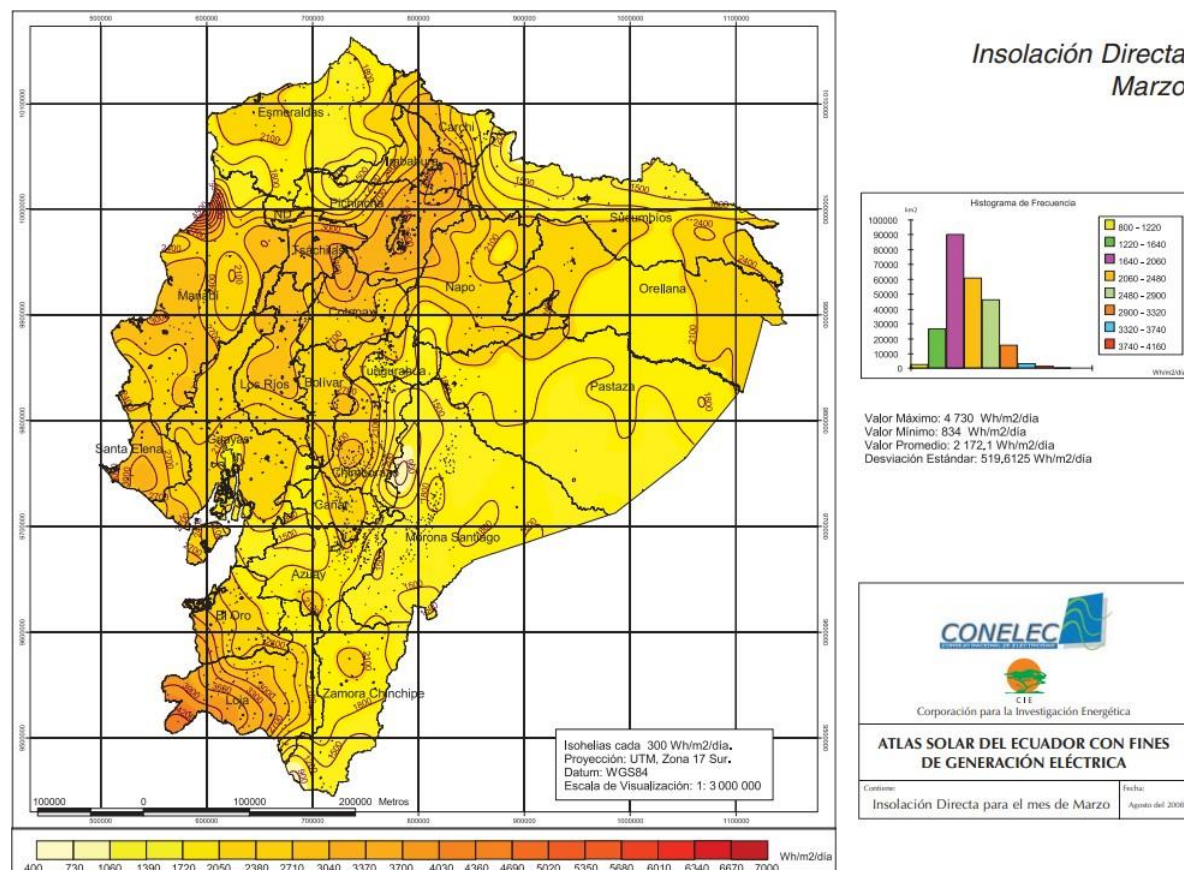


Figura 24. Radiación solar incidente de marzo [98].

De la revisión de la literatura, se sintetizó información sobre parámetros operacionales del sistema para calentar agua usando energía solar. En ciertas investigaciones [99] [100], se ha realizado la simulación del flujo de calor con valores de radiación solar pico, teniendo valores desde 1000 hasta 1800 W/m². Por este motivo, se estableció un valor de 1200 W/m² mostrado en la Figura 25, que se relacione con los registros históricos y con los resultados de investigaciones previas.

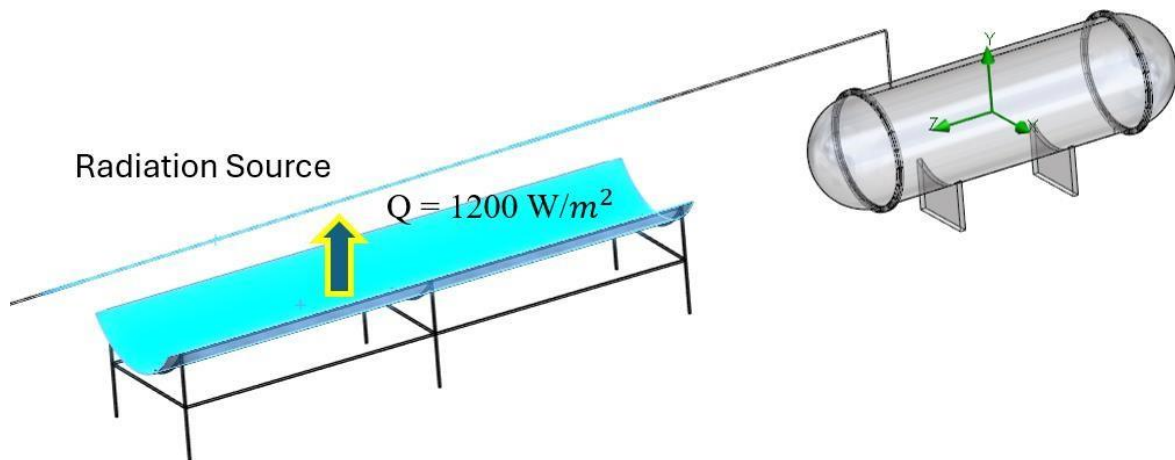


Figura 25. Flujo de calor establecido para la simulación.

2.5.4 Mallado

Para realizar análisis numérico mediante el método de elementos finitos en un software, es necesario seleccionar el fluido al interior de las tuberías. El mallado consiste en la discretización de la geometría en elementos más pequeños, para que se analice la influencia de las condiciones iniciales en cada uno de ellos. De esta manera, el software procesa individualmente esta información para presentar un resultado general. Se estableció el método de hexaedros dominantes como se indica en la Figura 26, llegando a tener 27732 elementos y 54830 nodos.

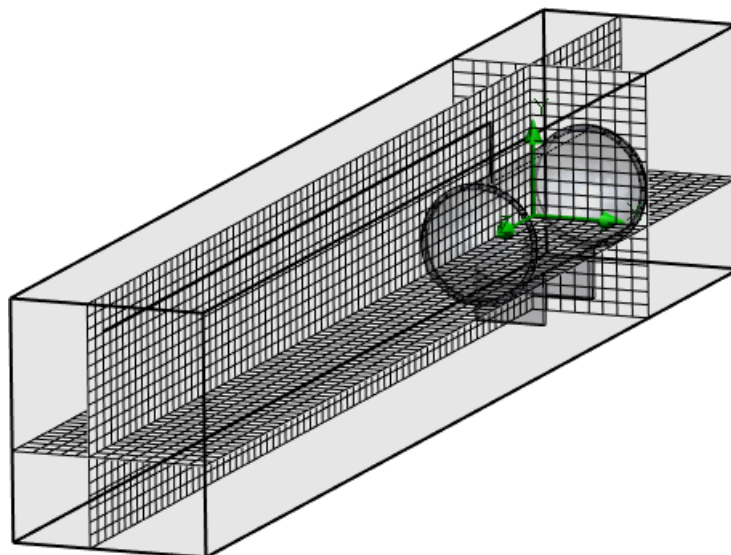


Figura 26. Generación de la malla.

La calidad de la malla se verifica con una métrica denominada oblicuidad o *skewness*, que compara la distorsión de los elementos generados, respecto a su forma ideal. Esta métrica de *skewness* debe ser inferior a 0.25 para considerar una excelente calidad de malla [101]. La Figura 27 presenta la validación del proceso de mallado, donde se alcanzó un valor promedio de 0.2234.

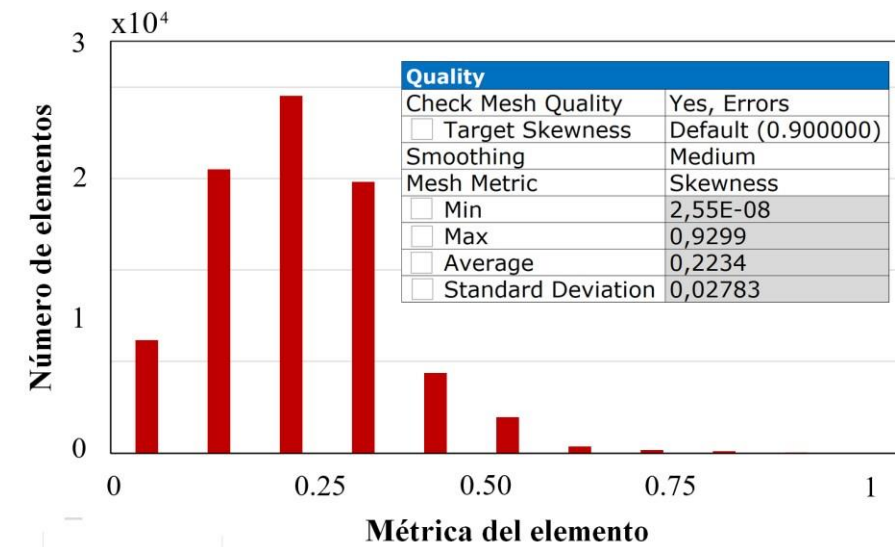


Figura 27. Métrica de validación para el mallado.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Calentamiento del agua

La Figura 28 describe la variación gradual de temperatura de agua, considerando que el suministro de la línea de abastecimiento potable estuvo a 14 °C, en promedio. Un menor caudal de agua resulta en un mayor tiempo de residencia del agua en el colector, permitiendo un mayor incremento de temperatura. Si el caudal es alto, el agua tiene menos tiempo para absorber el calor. El agua es capaz de almacenar una cantidad característica de energía térmica. El aumento de la temperatura del agua de 14 °C a 17.84 °C mediante el aprovechamiento del colector solar parabólico representa la capacidad del sistema para absorber y transferir energía solar al agua circundante por el tubo receptor.

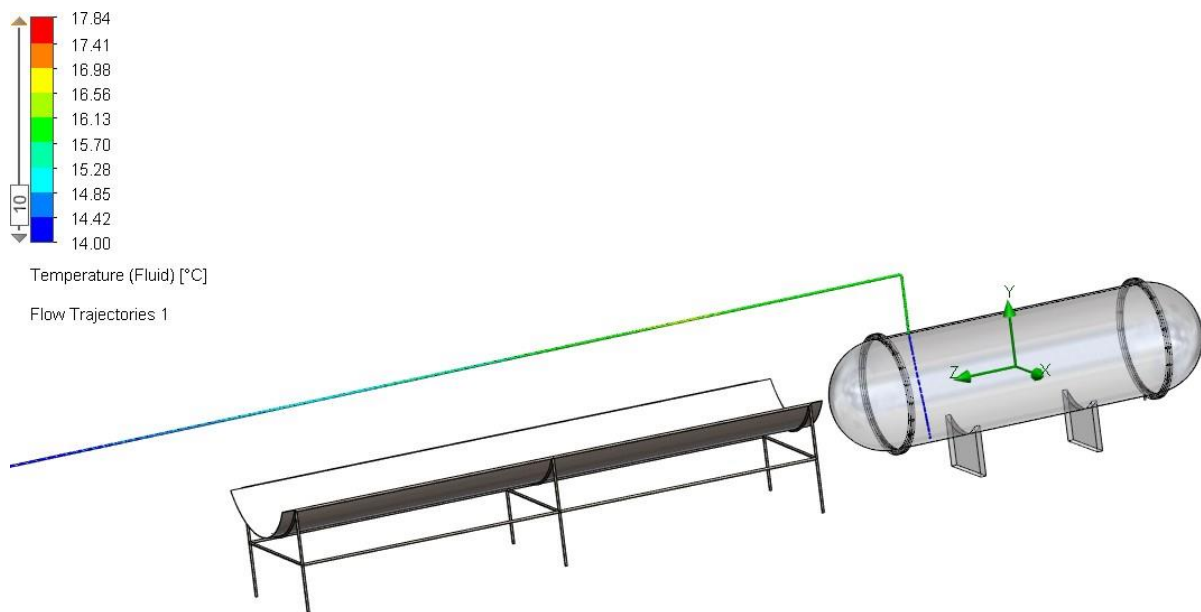


Figura 28. Simulación inicial con ingreso del agua desde el suministro potable.

La Figura 29 muestra un segundo escenario, para el que se estableció una temperatura de ingreso de 30 °C llegando a alcanzar una temperatura de 36.56 °C. La diferencia de temperatura de 6.56 °C indica la energía térmica que se ha transferido hacia el agua. Si el sistema logra incrementar la temperatura consistentemente en este intervalo, y esta temperatura es adecuada para las aplicaciones planificadas, entonces se puede considerar que el sistema está funcionando bien. Si se requiere una temperatura mayor, se tendría que considerar modificaciones

adicionales, como aumentar el área del colector, mejorar el aislamiento, ajustar el ángulo del colector, o reducir el caudal del agua.

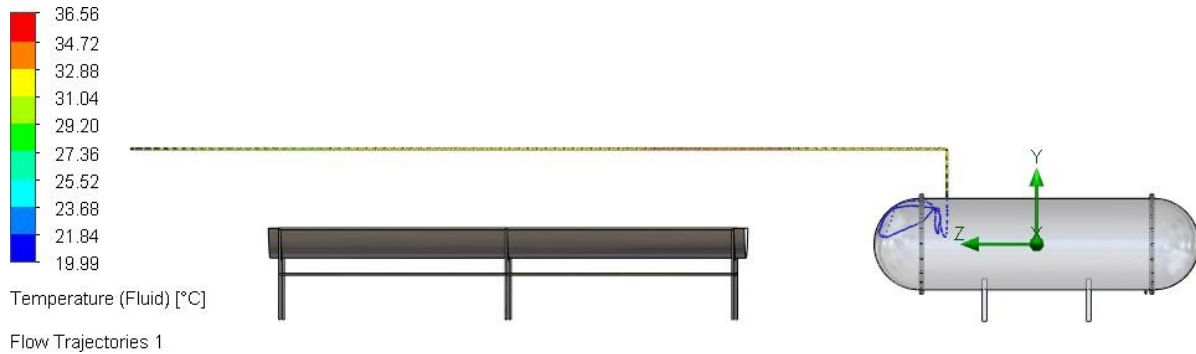


Figura 29. Simulación con temperatura de ingreso de 30 °C.

En una siguiente simulación, se estableció una temperatura de ingreso de 35 °C y el incremento máximo fue hasta 38.49 °C, como se muestra en la Figura 30. Dependiendo del uso final, un incremento de 3.49 °C puede ser adecuado o insuficiente. Si el propósito es alcanzar una temperatura específica mayor a 38.49°C, se necesitarían ajustes al sistema, sin embargo, se evidencia un comportamiento similar a los escenarios anteriores.

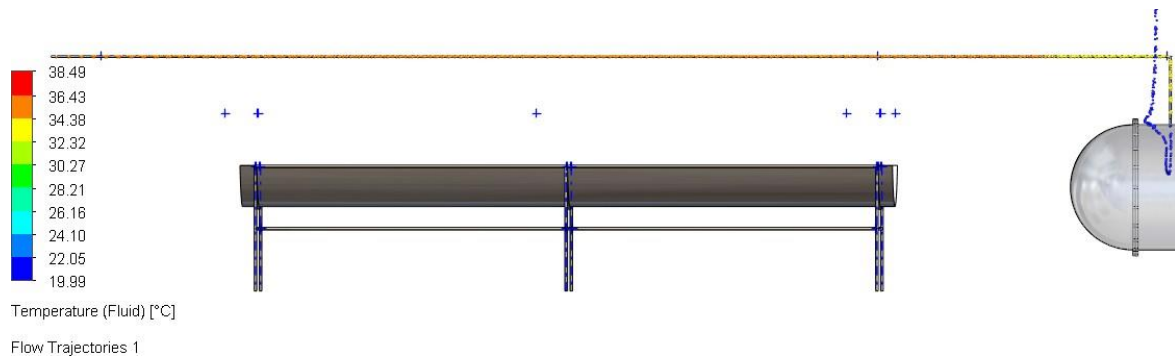


Figura 30. Simulación con temperatura de ingreso de 35 °C.

La Figura 31 expone el aumento de temperatura para el agua desde los 38 °C hasta que se alcanzó un valor máximo de 43.31 °C. Este incremento de temperatura de 5.31°C utilizando el colector solar parabólico permite afirmar que el sistema está funcionando y logrando una transferencia efectiva de energía solar al agua.



Figura 31. Simulación con temperatura de ingreso de 35 °C.

3.2 Variación de temperatura del agua respecto a longitud del tubo

La Figura 32 indica la manera en que varía su temperatura el agua considerando longitud de tubo, bajo las diferentes temperaturas de entrada analizadas. En algunos escenarios, el incremento de temperatura no es constante, al contrario, se llegó a una temperatura máxima cerca al punto medio de la tubería. Para la entrada de agua a 35 °C, se evidencia el proceso de calentamiento más uniforme, llegando una temperatura máxima de 38.49 °C.

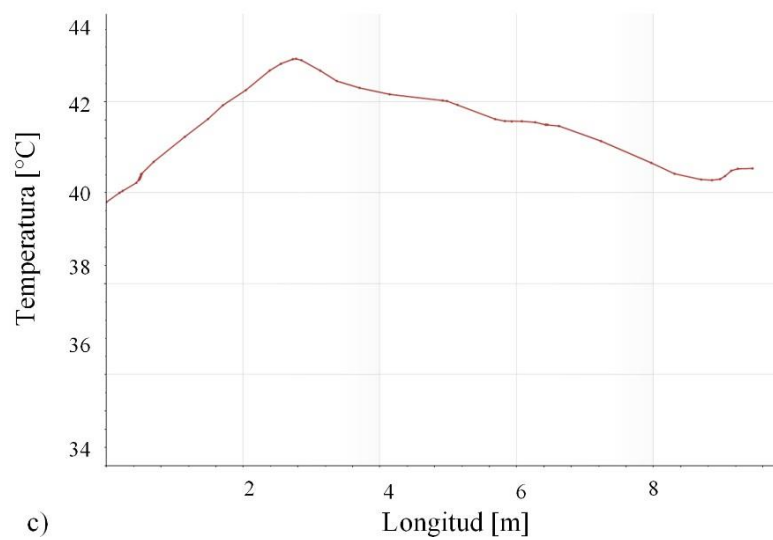
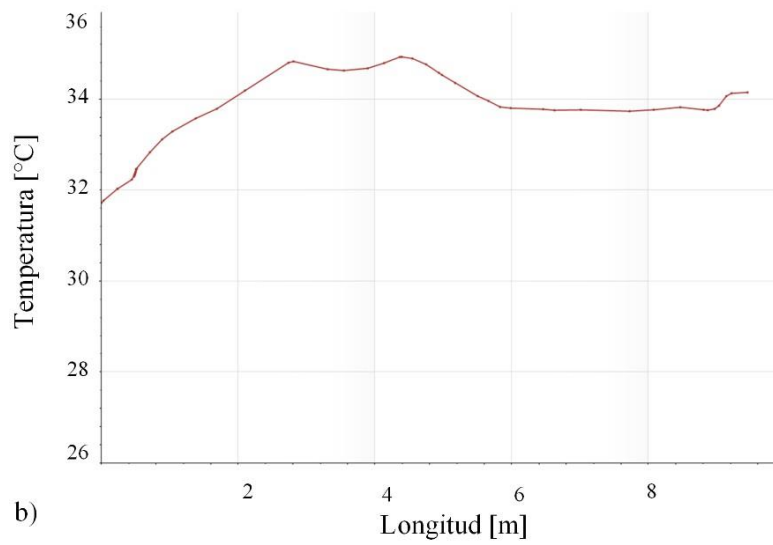
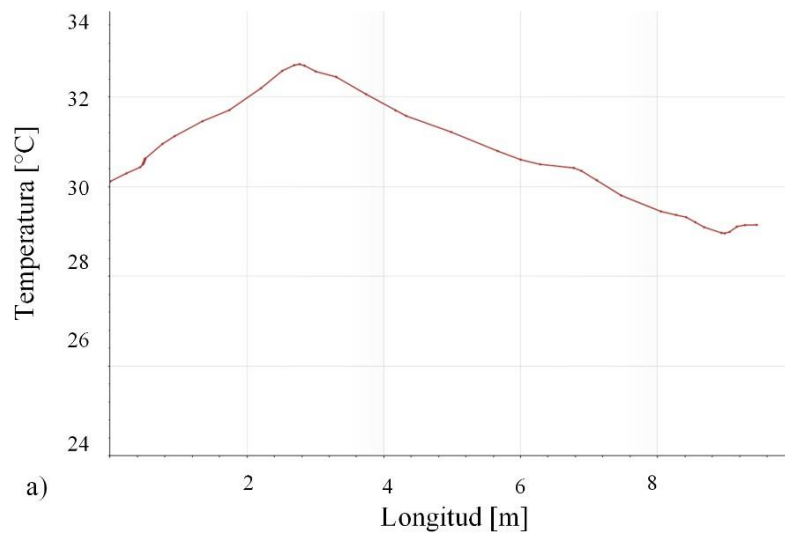


Figura 32. Aumento de temperatura del agua respecto a longitud del tubo con temperatura de ingreso de
a) 30 °C, b) 35 °C, c) 38 °C.

3.3 Análisis de eficiencia energética

La forma parabólica del colector está diseñada para reunir la radiación en el tubo que está en el foco del colector. Esto maximiza la recepción solar y aumenta la eficiencia del calentamiento. La energía solar que se dispone afecta directamente el calor que el colector puede transferir al agua. Una alta radiación solar incidente resulta en un mayor incremento de temperatura. La eficiencia de calor transferido del tubo receptor hacia el agua también es fundamental, ya que factores como la turbulencia dentro del tubo pueden mejorar el calor que es transferido.

La Figura 33 presenta los valores calculados analíticamente para el calor útil, es decir, indica la energía térmica que el colector solar ha transferido hacia el agua por unidad de tiempo. Este valor indica directamente la eficiencia del sistema para convertir la energía solar hacia térmica para calentar agua. El valor máximo fue en la simulación con la temperatura de ingreso de 30 °C, llegando a tener un calor de 835.4 W.

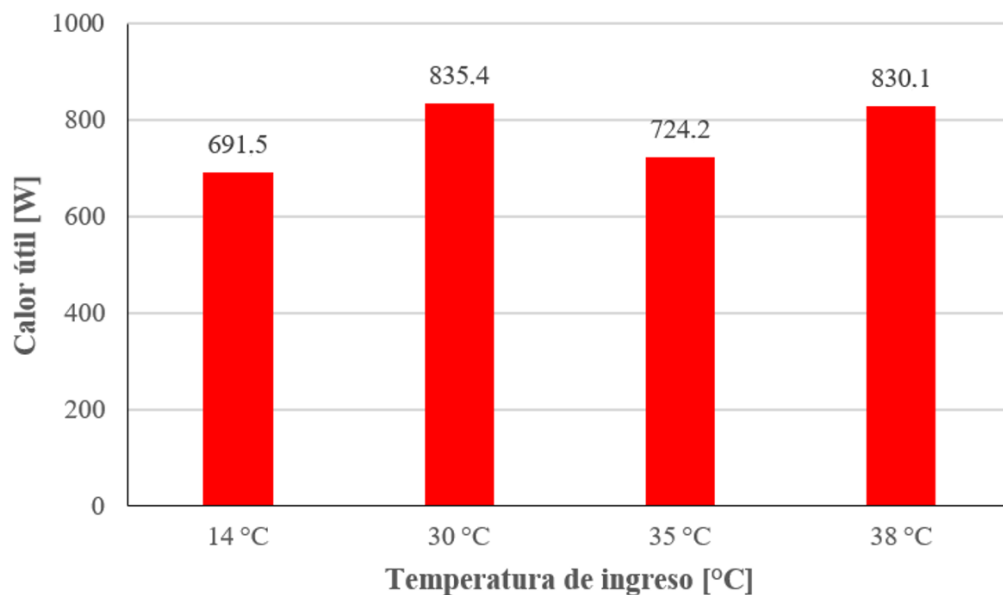


Figura 33. Calor útil transferido al agua.

La Figura 34 presenta los valores de eficiencia del colector solar a temperaturas de ingreso analizadas. El valor máximo que se alcanzó fue de 36.16 % cuando se estableció la temperatura del agua a 30 °C, mientras que la menor eficiencia fue de 34.57 % durante el primer proceso de simulación con agua a 14 °C para el ingreso. La geometría y los materiales del colector influyen en la manera de concentrar y absorber la energía solar eficientemente. La máxima eficiencia

indica que el 36.16 % de energía recibida del sol convertida hacia calor útil en el calentamiento del agua. A 30 °C, el diferencial de temperatura con el ambiente puede ser ideal, minimizando pérdidas convectivas y de radiación. Por otra parte, la eficiencia de 34.57 % indica se está convirtiendo este porcentaje de energía solar incidente en térmica. El agua más fría puede requerir más energía para alcanzar la misma temperatura, afectando su eficiencia.

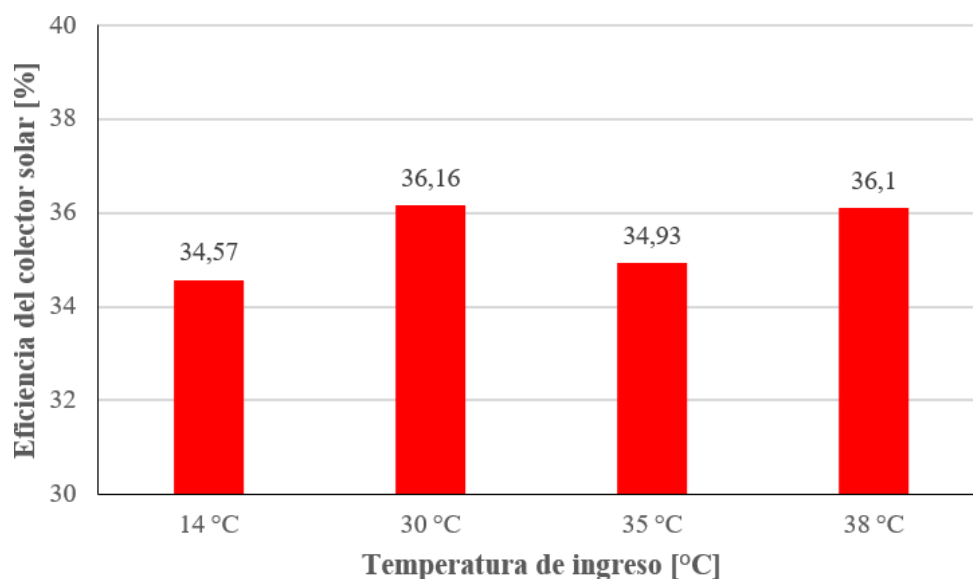


Figura 34. Eficiencia del colector solar.

La Figura 35 muestra la contribución energética que se llegaría a proporcionar con el uso de energía solar en el sistema que actualmente consume combustibles fósiles. El requerimiento del sistema es generar vapor a 105 °C, para lo cual se utiliza la cámara del caldero como intercambiador de calor para transferir el calor de la quema de diésel, en térmica hacia el agua. Se requiere un calor de 3.95 kW para realizar el incremento de temperatura del agua desde 14 °C hasta 105 °C. Así se estableció que, con la integración de un sistema complementario para precalentamiento del agua usando el colector parabólico es capaz de transferir 770.3 W, en promedio, hacia el agua.

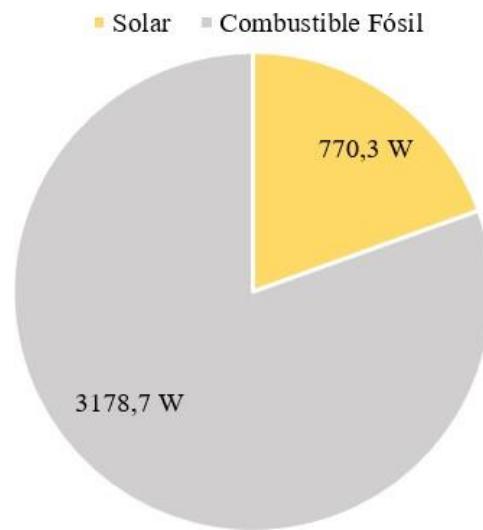


Figura 35. Cantidad de calor requerida para llegar a 105 °C en el agua.

La Figura 36 presenta porcentualmente la cantidad de suministros requeridos para este proceso de calentamiento. El calor transferido al colector solar es por convección hacia la tubería y por conducción a través de ésta, por lo que se busca alcanzar el equilibrio térmico. Se consideró la temperatura ambiente, pero sobre todo la magnitud superficial del colector solar, llegando a evidenciar un valor máximo de 45 °C.

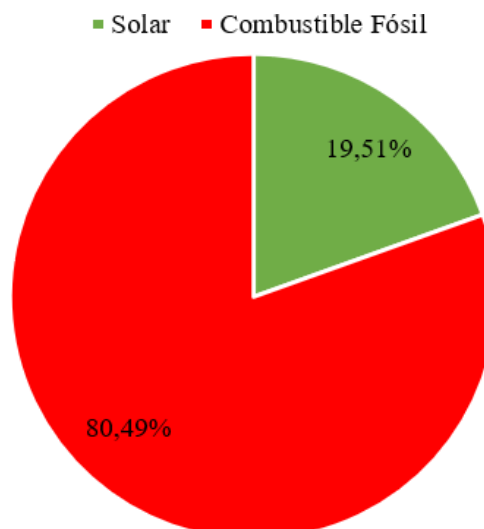


Figura 36. Distribución de la energía requerida por tipo de fuente.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1 Materiales

Se ha definido un costo total de USD 1230 que incluye equipos, materiales e insumos que se necesitan para implementar el medio complementario de precalentamiento de agua mediante un colector solar parabólico. La Tabla 3 enlista los insumos para el proceso de edificación, ensambladura y funcionamiento del sistema.

Tabla 4. Descripción de materiales requeridos.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario [USD]	Precio Total [USD]
Placa de acero inoxidable 6 x 1.5 m	1	300	300
Tubo de acero estructural 50 x 50 x 2 mm x 6 m de longitud	4	35	140
Tanque de acero inoxidable de 2.5 m ³	1	400	400
Tubo de acero galvanizado de 12.7 mm x 6 m	2	20	40
Bomba de recirculación de agua de ½ HP	1	100	100
Dispositivos de control y conducción de flujo (válvulas, codos, entre otros)	1	100	100
Hora de ingeniería y mano de obra	20	15	300
TOTAL			1380

4.2 Costo de calentamiento de cada m³

La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos No Renovables (ARCERNR) [102] tiene vigente un pliego tarifario de servicio eléctrico. En la Tabla 4 se detalla las categorías en función del consumo eléctrico por cada hora.

Tabla 5. Pliego tarifario 2022 [102]

Rango de Consumo [kW·h]	Cargos tarifarios [USD]	Descripción
Residencial		Se aplica a los consumidores sujetos a la categoría de Tarifa Residencial, independiente de la carga conectada. Por cada kW·h de consumo en el mes.
0 – 50	0.0784	Por cada kW·h
51 – 100	0.0814	Por cada uno de los siguientes 50 kW·h
101 – 150	0.0835	Por cada uno de los siguientes 50 kW·h
151 – 200	0.0904	Por cada uno de los siguientes 50 kW·h
201 – 250	0.0974	Por cada uno de los siguientes 50 kW·h
251 – 500	0.0994	Por cada uno de los siguientes 50 kW·h
501 – 700	0.1285	Por cada uno de los siguientes 200 kW·h
701 – 1000	0.145	Por cada uno de los siguientes 300 kW·h
1001 – 1500	0.1709	Por cada uno de los siguientes 500 kW·h
1501 – 2500	0.2752	Por cada uno de los siguientes 1000 kW·h
2501 – 3500	0.436	Por cada uno de los siguientes 1000 kW·h
3501 y superior	0.6812	Por cada uno de los siguientes 2000 kW·h

La ARCERNNR ha establecido un consumo eléctrico de 155 kW·h. En este escenario, la provincia de pichincha en su área urbana se ubica en la 4ta posición del país en cuanto a pagos eléctricos, con una media de USD 19 al mes [103]. Si se considera la media de consumo al mes del uso de un calentador convencional de energía eléctrica que está ubicado entre 151 – 200 kW·h, se tiene el costo de USD 0.09 por 1 kW·h. El proceso de calentamiento para generar vapor toma aproximadamente 2 horas, requiriendo su funcionamiento por 8 horas diarias y la carga térmica del motor para el caldero es de 20 HP. De esta manera, se puede establecer un costo para usar electricidad convencional en este proceso de:

$$20 \text{ HP} \cdot 8 \text{ h} \cdot \frac{0.746 \text{ kW}}{1 \text{ HP}} \cdot 0.09 \frac{\text{USD}}{\text{kW} \cdot \text{h}} = \text{USD } 10.74$$

Entonces, consumo eléctrico mensual sería de USD 322.50 al adicionar y también adicionar

cobros de comercialización y de alumbrado con un total de USD 2.84. También hay un costo direccionado a bomberos de USD 1.90 por recolección de basura de USD 7.40, con un total de USD 334.64 al mes. De esta manera, se puede establecer el costo del kW·h que se tiene para este proceso de calentamiento, con una potencia de 20 HP durante 8 horas diarias:

$$\frac{USD\ 334.64}{20\ HP \cdot 8\ h \cdot \frac{0.746\ kW}{1\ HP}} = 2.81 \frac{USD}{kW \cdot h}$$

Si se tiene un tanque que almacena 200 L, utilizando el caldero durante 4 procesos de calentamiento al día, entonces se tiene que:

$$200 \frac{L}{día} \cdot 4 \cdot \frac{1m^3}{1000\ L} \cdot \frac{30días}{1mes} = 24 \frac{m^3}{mes}$$

Así se llega a estimar que calentar 24 m³ de agua mensualmente cuesta USD 334.64, por lo que cada m³ de agua calentada genera un gasto de USD 13.95, al mes de energía eléctrica.

El combustible más común para estas aplicaciones es el diésel, debido a su bajo precio que fue evaluado y validado por PetroEcuador [104] en USD 3.21 por galón, para el diésel tipo I y II industrial, emitido el 11 de enero del 2024. El diésel tiene un importante poder calórico, de 35.9 MJ/L y de esta manera establece el costo de energía como:

$$\frac{3.21 \frac{USD}{gal} \cdot \frac{1\ gal}{3.785\ L}}{35.9 \frac{MJ}{L}} = 0.024 \frac{USD}{MJ}$$

Además, este poder calórico puede ser expresado en kW·h:

$$c_{p,diésel} = 35.9 \times 10^3 \frac{kJ}{L} \cdot \frac{1kW \cdot h}{3600\ kJ}$$

$$c_{p,diésel} = 9.97 \frac{kW \cdot h}{L}$$

Entonces, esto generaría el siguiente costo:

$$3.21 \frac{USD}{gal} \cdot \frac{1\ gal}{3.785\ L} \quad USD$$

$$\frac{\frac{kW \cdot h}{L}}{9.97} = 0.085 \frac{kW \cdot h}{kW \cdot h}$$

La energía consumida para calentar agua desde la temperatura de suministro a la temperatura final se definió en 3.95 kW, considerando 200 L en un período de tiempo de 2 horas. Por lo que la energía requerida para calentar cada m³ de agua se estima como:

$$Q = \frac{3.95 \text{ kW} \cdot 2 \text{ h}}{200 \text{ L}} \cdot \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

$$Q = 39.5 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{m}^3}$$

Si se necesita un flujo energético de 39.5 kW·h/m³ para calentar 1 m³ de agua, se asume que el costo total sería de:

$$0.085 \frac{\text{USD}}{\text{kW} \cdot \text{h}} \cdot 39.5 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{m}^3} = 3.36 \frac{\text{USD}}{\text{m}^3}$$

Si se considera que diariamente se están calentado 0.8 m³, se puede afirmar que al mes se está gastando USD 80.64.

4.3 Análisis comparativo de costos

La Tabla 5 presenta una comparativa respecto a los costos que conlleva calentar agua utilizando medios convencionales, como energía eléctrica o quema de combustibles, además de incluir el ahorro energético con el sistema de precalentamiento con el colector solar parabólico.

Tabla 6. Costos para calentar agua.

Método de Calentamiento	Costo m³ [USD]	Costo Mensual [USD]
Resistencia eléctrica	13.95	334.64
Diésel	3.36	80.64
Colector solar	0	0

Como se estableció, la implementación de una etapa de precalentamiento del agua antes del ingreso al caldero genera un ahorro energético de 19.51 %. De esta manera, se puede afirmar

que, con la integración de un prototipo para calentar agua mediante un colector solar parabólico,

se puede ahorrar USD 15.74 al mes. Además, se destina un presupuesto estimado de USD 100 al mes para realizar actividades de mantenimiento. La principal importancia de realizar este procedimiento es proponer una alternativa sustentable, que ya no utilice recursos no renovables y que tenga el mínimo impacto ambiental negativo.

4.4 Perspectiva económica

Se debe establecer si este proyecto es viable considerando los costos iniciales, la adecuación a los fondos económicos, y también costos y bienes generados. En marzo de 2021, la inflación alcanzó niveles más bajos que los registrados en 2007. En 2020, la inflación estuvo al 4.8 %, disminuyó hasta alcanzar el 1.6 % [105]. La Tabla 6 indica este proceso de inflación.

Tabla 7. Incremento de inflación en Ecuador [105].

2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
2.2 %	9.7 %	4.5 %	3.30%	4.3 %	5.0 %	2.7 %	3.7 %	4.9 %	1.6 %

4.5 Ahorro económico

Al implementar este sistema para calentar agua que utiliza un colector parabólico, se presenta un ahorro económico, y para ello se han analizado los costos mensuales y anuales correspondientes. Para establecer esto, se debe tomar en cuenta el impacto económico positivo para disminuir el uso del caldero actual que quema diésel para el calentamiento de agua en su funcionamiento.

Tabla 8. Proyección de ahorros.

Año	Inflación Anual	Ahorro Diésel [USD]	Ahorros Anuales [USD]	Gastos [USD]	Flujo Neto [USD]
1	2.2 %	15.74	193.04	1230	-1036.96
2	9.7 %	15.74	207.20	100	107.20
3	4.5 %	15.74	197.38	100	97.38
4	3.3 %	15.74	195.11	100	95.11
5	4.3 %	15.74	197.00	100	97.00
6	5.0 %	15.74	198.32	100	98.32
7	2.7 %	15.74	193.98	100	93.98
8	3.7 %	15.74	195.87	100	95.87
9	4.9 %	15.74	198.14	100	98.14
10	1.6 %	15.74	191.90	100	91.90

4.6 Valor actual neto (V.A.N.)

Se define como un parámetro económico que establece el diferencial del valor presente del manejo de beneficios futuros y el presente de inversiones y diferentes fuentes de gasto. El V.A.N. se obtiene con la adición de crecientes de efectivo futuros renovados a su valor presente, menos las salidas de efectivo iniciales. Se puede calcular mediante la ecuación:

$$VAN = -Inv + \sum_{n=1}^{N^{\circ}} \frac{F_t}{(1+i)^n} \quad (33)$$

Donde:

Inv: Gasto inicial

Q: Tiempo

N°: Cantidad de tiempo en períodos

F_T: Valor económico para los períodos

i: Tipo de interés exigido

La Tabla 9 presenta los valores al considerar el interés del 5 % para el V.A.N.

Tabla 9. Cálculo del V.A.N.

Año	Flujo Neto
1	-1036.96
2	107.20
3	97.38
4	95.11
5	97.00
6	98.32
7	93.98
8	95.87
9	98.14
10	91.90
V.A.N. = 417.92	

4.7 Tasa interna de retorno (T.I.R.)

Es una reducción que permite al valor presente de los crecientes de beneficios futuros equivalga al valor contemporáneo de los crecientes de gastos negativos, es decir, un flujo de interés equivalente al V.A.N. de cero. Se utiliza para incrementar el rendimiento del costo inicial considerando la tasa de efectivo, representando la máxima tasa de interés para un inversor que puede aceptar sin incurrir en pérdidas. Matemáticamente, la T.I.R. se calcula encontrando la tasa i que satisface la ecuación (34):

$$VAN = 0 = \sum_{n=1}^{N^o} \frac{F_t}{(1 + TIR)^n} - Inv \quad (34)$$

La Tabla 9 presenta los valores y el tiempo en que se convierte rentable la implementación de este proyecto.

Tabla 10. Cálculo de T.I.R.

Año	Flujo Neto [USD]	Flujo Acumulado [USD]
1	-1036.96	-1036.96
2	107.20	-929.76
3	97.38	-832.38
4	95.11	-737.27
5	97.00	-640.27
6	98.32	-541.94
7	93.98	-447.97
8	95.87	-352.10
9	98.14	-253.96
10	91.90	-162.06
11	97.38	-64.68
12	95.11	30.43
	T.I.R.	15 %

4.8 Tiempo de recuperación

Tiempo definido en años que un proyecto necesita para redimir el costo inicial y es calculado con la ecuación (36):

$$PR = NA + \frac{|FA|}{F_{A+1}} \quad (35)$$

Donde:

PR: Período de recuperación

NA: Años en pérdida

FA: Flujo hasta años de pérdida

F_{A+1}: Flujo siguiente de años de pérdida

Al considerar los valores calculados, se define que:

$$PR = 11 + \frac{|-64.68|}{30.43} = 13.13 \text{ años}$$

CONCLUSIONES

De la revisión de la literatura, se conoció alternativas sustentables para contribuir a un menor consumo de combustibles fósiles. Actualmente, la Quesera Artesanal “San Sebastián” utiliza un caldero que quema diésel para generar vapor a una temperatura de 105 °C. Por tal motivo, se ha propuesto un diseño para la implementación del sistema de precalentamiento de agua usando colector parabólico, de 6 m de longitud y un tanque de almacenamiento de 2.5 m³.

El diseño de este sistema consideró leyes físicas y de la termodinámica para el planteamiento de un análisis matemático dependiendo del calor requerido. Además, se analizaron los ángulos solares y parámetros operacionales de investigaciones previas que facilitaron establecer condiciones iniciales para el diseño. Se utilizó un software CAD que permitió modelar tridimensional los componentes y luego ensamblarlos. Posterior a ello, se utilizó un software CAE, donde se importó esta geometría para definir condiciones iniciales, como flujo másico de 0.1 kg/s para agua, a una temperatura de 20 °C. Para la generación del mallado, se utilizó el método de hexaedros dominantes para trabajar con el fluido al interior de las tuberías. Se obtuvieron 27732 elementos y 54830 nodos, con calidad de la malla de 0.2234, lo que permitió afirmar la validez del análisis numérico computacional.

Mediante la obtención de resultados en el proceso de simulación, se estableció que el sistema integrado con un colector solar parabólico es capaz de suministrar un calor de 770.3 W, en promedio. Este calor se convirtió en energía térmica permitiendo al agua la capacidad de incrementar su temperatura, donde se llegó a alcanzar un valor máximo de 43.31 °C. El caldero con el consumo de diésel requiere 3.95 kW para realizar este proceso de calentamiento, por lo que se puede disminuir este consumo en 19.51 % mediante la implementación de esta etapa de precalentamiento utilizando energía solar.

La inversión inicial para la adquisición de los materiales ronda los USD 1230, por lo que se estableció un análisis económico para definir el costo actual para el calentamiento del agua y definir la viabilidad de esta implementación. El costo de calentamiento para cada m³ es de USD 3.36, asumiendo un gasto mensual de USD 80.64 y el ahorro mensual correspondería a USD 15.74. Con el análisis económico desarrollado, se obtuvo un V.A.N. superior a uno (1), por lo

que el proyecto es rentable para iniciar con su implementación. Para la T.I.R. se alcanzó un valor de 15 % estableciendo una recuperación en 13.13 años.

RECOMENDACIONES

El desarrollo de simulaciones siguiendo un análisis numérico computacional ha sido validado con la revisión de la literatura. Sin embargo, se recomienda realizar pruebas de campo, para obtener parámetros operacionales de manera experimental. De esta manera, se analice los resultados obtenidos analíticamente, con simulación y con experimentos.

La geometría, dimensiones y selección de materiales para la propuesta del diseño deberían ser los más adecuados, que sean capaces de generar el mayor rendimiento y eficiencia posibles. Por esto, es recomendable establecer un presupuesto considerable, para no tener las limitantes al momento de solicitar los materiales que se han descrito en la planificación.

Se recomienda la posibilidad de construir un prototipo a menor escala previo a la implementación del sistema. Se han evidenciado inconvenientes con el incremento de temperatura, por lo que se debería analizar el flujo másico más adecuado e incluso plantear como alternativa una mayor cantidad de pasos.

El análisis económico permitió establecer el período para recuperar los costos iniciales, pero se recomienda analizar lo que sucede con todas las formas de consumo de energías convencionales. En este caso, se consideró el ahorro energético de 19.51 % de calor que suministra el colector solar. Sin embargo, el planteamiento de los costos eléctricos se realizó en función de lo que indicaron los operarios y personal encargado. Realmente, sí existe una eficiencia energética con un ahorro eléctrico

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Economidou, V. Todeschi, P. Bertoldi, D. D'Agostino, P. Zangheri, and L. Castellazzi, "Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings," *Energy Build*, vol. 225, p. 110322, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2020.110322.
- [2] A. P. Granja-Salazar, "Auditoria Energética de una casa en Quito, Ecuador," Feb. 2022, Accessed: Dec. 03, 2023. [Online]. Available: <https://reunir.unir.net/handle/123456789/12912>
- [3] L. A. Paredes, "Electromovilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental," *Revista Técnica "energía,"* vol. 16, no. 1, pp. 97–105, Jul. 2019, doi: 10.37116/REVISTAENERGIA.V16.N1.2019.340.
- [4] K. Cao *et al.*, "Renewable and sustainable strategies for improving the thermal environment of Chinese solar greenhouses," *Energy Build*, vol. 202, p. 109414, Nov. 2019, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2019.109414.
- [5] D. Romo and D. Morales, "Eficiencia Energética en la Universidad Católica sede Azogues un enfoque de implementación técnico – económico basado en energía solar," *Revista Técnica "energía,"* vol. 17, no. 2, pp. 44–54, Jan. 2021, doi: 10.37116/REVISTAENERGIA.V17.N2.2021.420.
- [6] L. Siverio Valle, D. A. Q. Cabrera, E. Yoel, and F. Wong, "Eficiencia energética en edificios de oficinas mediante tecnología de iluminación LED y parque solar FV Energy efficiency in office buildings using LED lighting and PV solar technologies," *Energética,* vol. 42, no. 2, pp. 69–80, 2021, [Online]. Available: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE>
- [7] R. Akram, F. Chen, F. Khalid, Z. Ye, and M. T. Majeed, "Heterogeneous effects of energy efficiency and renewable energy on carbon emissions: Evidence from developing countries," *J Clean Prod*, vol. 247, p. 119122, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.119122.
- [8] H. Sun, B. K. Edziah, A. K. Kporsu, S. A. Sarkodie, and F. Taghizadeh-Hesary, "Energy efficiency: The role of technological innovation and knowledge spillover," *Technol Forecast Soc Change*, vol. 167, p. 120659, Jun. 2021, doi: 10.1016/J.TECHFORE.2021.120659.
- [9] S. Koohi-Fayegh and M. A. Rosen, "A review of energy storage types, applications and recent developments," *J Energy Storage*, vol. 27, p. 101047, Feb. 2020, doi:

- 10.1016/J.EST.2019.101047.
- [10] Y. Krishna, M. Faizal, R. Saidur, K. C. Ng, and N. Aslfattahi, “State-of-the-art heat transfer fluids for parabolic trough collector,” *Int J Heat Mass Transf*, vol. 152, p. 119541, May 2020, doi: 10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2020.119541.
 - [11] H. J. Xu and C. Y. Zhao, “Analytical considerations on optimization of cascaded heat transfer process for thermal storage system with principles of thermodynamics,” *Renew Energy*, vol. 132, pp. 826–845, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.RENENE.2018.07.135.
 - [12] P. R. Pacheco, E. M. Mera, G. A. Salini, P. R. Pacheco, E. M. Mera, and G. A. Salini, “Medición Localizada de Contaminantes Atmosféricos y Variables Meteorológicas: Segunda Ley de la Termodinámica,” *Información tecnológica*, vol. 30, no. 3, pp. 105–116, 2019, doi: 10.4067/S0718-07642019000300105.
 - [13] Yanan. Camaraza Medina, “Introducción a la termotransferencia.,” p. 1166, 2017.
 - [14] W. Li, Y. Lin, K. Zhou, J. Li, and J. Zhu, “Local heat transfer of saturated flow boiling in vertical narrow microchannel,” *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 145, p. 105996, Nov. 2019, doi: 10.1016/J.IJTHERMALSCI.2019.105996.
 - [15] A. C. Pazmiño Miranda, “Análisis del Plan Nacional de Eficiencia Energética en el Ecuador,” *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, vol. 5, no. 1, p. 28, Jul. 2020, doi: 10.33936/RIEMAT.V5I1.2500.
 - [16] Pedro. Chevez, “Energia Renovable y Eficiencia Energetica,” 2021.
 - [17] M. Economidou, V. Todeschi, P. Bertoldi, D. D’Agostino, P. Zangheri, and L. Castellazzi, “Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings,” *Energy Build*, vol. 225, p. 110322, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2020.110322.
 - [18] E. Kuchen, D. Kozak, E. Kuchen, and D. Kozak, “Transición Energética Argentina. El Nuevo Estándar De Eficiencia Energética En La Evaluación De La Vivienda Social. Caso De Estudio: Vivienda De Barrio Papa Francisco,” *Revista hábitat sustentable*, vol. 10, no. 1, pp. 44–55, Jun. 2020, doi: 10.22320/07190700.2020.10.01.04.
 - [19] ISO, “ISO 50001:2011(es) Sistemas de gestión de la energía — Requisitos con orientación para su uso.” Accessed: Dec. 02, 2023. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:50001:ed-1:v1:es>
 - [20] H. Fuchs, A. Aghajanzadeh, and P. Therkelsen, “Identification of drivers, benefits, and challenges of ISO 50001 through case study content analysis,” *Energy Policy*, vol. 142,

- p. 111443, Jul. 2020, doi: 10.1016/J.ENPOL.2020.111443.
- [21] Y. M. Ladeuth, D. D. López, C. A. Socarrás, Y. M. Ladeuth, D. D. López, and C. A. Socarrás, “Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en la planificación de un sistema de gestión y norma técnica de calidad ISO 50001:2011,” *Información tecnológica*, vol. 32, no. 1, pp. 101–112, 2021, doi: 10.4067/S0718- 07642021000100101.
- [22] V. Rueda, “Auditoría energética a un bloque de aulas en Quito, Ecuador como estrategia de reducción de emisiones de CO₂,” *Revista Técnica “energía,”* vol. 18, no. 2, pp. 38–47, Jan. 2022, doi: 10.37116/REVISTAENERGIA.V18.N2.2022.477.
- [23] W. A. Sánchez Mendoza, “Desarrollo sustentable: un cisma ambiental y comercial (intenciones ocultas del crecimiento verde),” 2022.
- [24] J. D. Sachs, G. Schmidt-Traub, M. Mazzucato, D. Messner, N. Nakicenovic, and J. Rockström, “Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals,” *Nature Sustainability* 2019 2:9, vol. 2, no. 9, pp. 805–814, Aug. 2019, doi: 10.1038/s41893-019-0352-9.
- [25] A. V. Norström *et al.*, “Principles for knowledge co-production in sustainability research,” *Nature Sustainability* 2020 3:3, vol. 3, no. 3, pp. 182–190, Jan. 2020, doi: 10.1038/s41893-019-0448-2.
- [26] C. A. Ruggerio, “Sustainability and sustainable development: A review of principles and definitions,” *Science of The Total Environment*, vol. 786, p. 147481, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.147481.
- [27] M. Vacchi, C. Siligardi, F. Demaria, E. I. Cedillo-González, R. González-Sánchez, and D. Settembre-Blundo, “Technological Sustainability or Sustainable Technology? A Multidimensional Vision of Sustainability in Manufacturing,” *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 9942, vol. 13, no. 17, p. 9942, Sep. 2021, doi: 10.3390/SU13179942.
- [28] A. Delucchi, “Arquitectura y sustentabilidad: como atraviesa la crisis ambiental la problematica del proyecto,” 2021.
- [29] J. Panceri, “Sustentabilidad: economia, desarrollo sustentable y medioambiente,” p. 349, 2021, Accessed: Dec. 02, 2023. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/lc/udg/titulos/173414>
- [30] A. G. Olabi and M. A. Abdelkareem, “Renewable energy and climate change,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 158, p. 112111, Apr. 2022, doi:

- 10.1016/J.RSER.2022.112111.
- [31] M. Zheng and C. Y. Wong, “The impact of digital economy on renewable energy development in China,” *Innovation and Green Development*, vol. 3, no. 1, p. 100094, Mar. 2024, doi: 10.1016/J.IGD.2023.100094.
 - [32] J. F. Bermejo, J. F. G. Fernández, F. O. Polo, and A. C. Márquez, “A Review of the Use of Artificial Neural Network Models for Energy and Reliability Prediction. A Study of the Solar PV, Hydraulic and Wind Energy Sources,” *Applied Sciences* 2019, Vol. 9, Page 1844, vol. 9, no. 9, p. 1844, May 2019, doi: 10.3390/APP9091844.
 - [33] L.-V. Clementi, G.-P. Jacinto, L.-V. Clementi, and G.-P. Jacinto, “Energía eólica distribuida: oportunidades y desafíos en Argentina,” *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, no. 29, pp. 48–64, Mar. 2021, doi: 10.17141/LETRASVERDES.29.2021.4590.
 - [34] E. Del *et al.*, “Estimación Del Tiempo De Recuperación De Energía Aplicado En Producción De Hidrogeno Con Fines De Generación Eléctrica,” *Revista Técnica “energía,”* vol. 18, no. 2, pp. 74–84, Jan. 2022, doi: 10.37116/REVISTAENERGIA.V18.N2.2022.492.
 - [35] X. Sun, S. Jiang, H. Huang, H. Li, B. Jia, and T. Ma, “Solar Energy Catalysis,” *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 61, no. 29, p. e202204880, Jul. 2022, doi: 10.1002/ANIE.202204880.
 - [36] M. H. Alaaeddin, S. M. Sapuan, M. Y. M. Zuhri, E. S. Zainudin, and F. M. AL-Oqla, “Photovoltaic applications: Status and manufacturing prospects,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 102, pp. 318–332, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.RSER.2018.12.026.
 - [37] Y. A. Jieb and E. Hossain, “Photovoltaic Systems: Fundamentals and Applications,” *Photovoltaic Systems: Fundamentals and Applications*, pp. 1–283, Dec. 2021, doi: 10.1007/978-3-030-89780-2.
 - [38] J. B. Holm-Nielsen, P. Pandiyan, K. Mohana. Sundaram, and P. Sanjeevikumar, “PHOTOVOLTAIC SYSTEMS artificial intelligence based fault diagnosis and.,” 2022.
 - [39] Z. jun Wang, H. Song, H. Liu, and J. Ye, “Coupling of Solar Energy and Thermal Energy for Carbon Dioxide Reduction: Status and Prospects,” *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 59, no. 21, pp. 8016–8035, May 2020, doi: 10.1002/ANIE.201907443.
 - [40] I. Simbaña, W. Quitiaquez, J. Estupiñán, F. Toapanta-Ramos, and L. Ramírez,

- “Evaluación del rendimiento de una bomba de calor de expansión directa asistida por energía solar mediante simulación numérica del proceso de estrangulamiento en el dispositivo de expansión,” *Revista Técnica “energía,”* vol. 19, no. 1, pp. 110–119, Jul. 2022, doi: 10.37116/REVISTAENERGIA.V19.N1.2022.524.
- [41] W. Carrión-Chamba, W. Murillo-Torres, A. Montero-Izquierdo, W. Carrión-Chamba, W. Murillo-Torres, and A. Montero-Izquierdo, “Una revisión de los últimos avances de los colectores solares térmicos aplicados en la industria,” *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, vol. 2022, no. 27, pp. 59–73, Jan. 2022, doi: 10.17163/INGS.N27.2022.06.
- [42] K. Ravi Kumar, N. V. V. Krishna Chaitanya, and N. Sendhil Kumar, “Solar thermal energy technologies and its applications for process heating and power generation – A review,” *J Clean Prod*, vol. 282, p. 125296, Feb. 2021, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.125296.
- [43] L. Leng, Z. Wang, A. Wan, Y. Zhao, Y. Liu, and Q. Zuo, “Joint impacts of ambient temperature, path flexibility, and hybrid fleet on energy-conserving supply chain network,” *J Clean Prod*, vol. 423, p. 138685, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2023.138685.
- [44] D. H. Clift, C. Stanley, K. N. Hasan, and G. Rosengarten, “Assessment of advanced demand response value streams for water heaters in renewable-rich electricity markets,” *Energy*, vol. 267, p. 126577, Mar. 2023, doi: 10.1016/J.ENERGY.2022.126577.
- [45] T. Tanaka and F. Mizutani, “Determinants of the adoption of energy efficient water heaters in the residential sector: Evidence from a survey in Japan,” *Energy Policy*, vol. 180, p. 113688, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.ENPOL.2023.113688.
- [46] C. Polski, T. Polski, J. Roman, R. Wróblewski, J. Bartoszewicz, and B. Ceran, “A novel concept to improve the flexibility of steam power plants using an electric feedwater heater,” *Appl Therm Eng*, vol. 236, p. 121661, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2023.121661.
- [47] S. Vargas-Payera, C. Ibarra, and N. Hurtado, “Social and cultural aspects in the adoption of geothermal heat pump systems to replace wood-burning heaters in educational spaces: The Chilean Patagonian case,” *J South Am Earth Sci*, vol. 128, p. 104426, Aug. 2023, doi: 10.1016/J.JSAMES.2023.104426.
- [48] F. Ju *et al.*, “Experimental investigation on system performance of an instant heat pump water heater with combined condenser,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 53,

- p. 103819, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.CSITE.2023.103819.
- [49] O. Hachchadi *et al.*, “Experimental optimization of the heating element for a direct-coupled solar photovoltaic water heater,” *Solar Energy*, vol. 264, p. 112037, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.SOLENER.2023.112037.
 - [50] L. Peng, M. Salem, V. Blazek, L. Prokop, M. Al-Bahrani, and S. Misak, “Thermal energy storage applications in solar water heaters: An updated review,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 57, p. 103230, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.SETA.2023.103230.
 - [51] B. Darbari and S. Rashidi, “Thermal efficiency of flat plate thermosyphon solar water heater with nanofluids,” *J Taiwan Inst Chem Eng*, vol. 128, pp. 276–287, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.JTICE.2021.06.027.
 - [52] M. Nazari, S. Jafarmadar, and S. Khalilarya, “Exergy and thermoeconomic analyses of serpentine tube flat-plate solar water heaters coated with CuO nanostructures,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 35, p. 102072, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.CSITE.2022.102072.
 - [53] S. ed D. Fertahi, A. Samaouali, T. Bouhal, and A. Arid, “Thermal energy storage enhancement of a forced circulation solar water heater’s vertical tank unit using phase change material,” *Appl Therm Eng*, vol. 215, p. 118972, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2022.118972.
 - [54] B. Ranjan Tamuli and S. Nath, “Analysis of micro heat pipe array based evacuated tube solar water heater integrated with an energy storage system for improved thermal performance,” *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 41, p. 101801, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.TSEP.2023.101801.
 - [55] A. Y. Al-Rabeeah, I. Seres, and I. Farkas, “Experimental investigation of parabolic trough solar collector thermal efficiency enhanced with different absorber coatings,” *International Journal of Thermofluids*, vol. 19, p. 100386, Aug. 2023, doi: 10.1016/J.IJFT.2023.100386.
 - [56] M. R. Al-Mamun *et al.*, “State-of-the-art in solar water heating (SWH) systems for sustainable solar energy utilization: A comprehensive review,” *Solar Energy*, vol. 264, p. 111998, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.SOLENER.2023.111998.
 - [57] L. Evangelisti, R. De Lieto Vollaro, and F. Asdrubali, “Latest advances on solar thermal collectors: A comprehensive review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.

- 114, p. 109318, Oct. 2019, doi: 10.1016/J.RSER.2019.109318.
- [58] K. Chopra, A. K. Pathak, V. V. Tyagi, A. K. Pandey, S. Anand, and A. Sari, “Thermal performance of phase change material integrated heat pipe evacuated tube solar collector system: An experimental assessment,” *Energy Convers Manag*, vol. 203, p. 112205, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2019.112205.
- [59] M. Saghafifar and S. Gabra, “A critical overview of solar assisted carbon capture systems: Is solar always the solution?,” *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 92, p. 102852, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.IJGGC.2019.102852.
- [60] M. AbdEl-Rady Abu-Zeid *et al.*, “Performance enhancement of flat-plate and parabolic trough solar collector using nanofluid for water heating application,” *Results in Engineering*, vol. 21, p. 101673, Mar. 2024, doi: 10.1016/J.RINENG.2023.101673.
- [61] J. Wang, Z. Han, and Z. Guan, “Hybrid solar-assisted combined cooling, heating, and power systems: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 133, p. 110256, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.RSER.2020.110256.
- [62] F. R. R. Anastacio and F. R. R. Anastacio, “Seguidor solar a dos ejes cuya posición se calcula utilizando los ángulos de elevación y Azimut del sol en Guayaquil,” *RECIMUNDO*, vol. 6, no. 1, pp. 225–231, Feb. 2022, doi: 10.26820/recimundo/6.(1).ene.2022.225-231.
- [63] G. Serale, M. Fiorentini, A. Capozzoli, P. Cooper, and M. Perino, “Formulation of a model predictive control algorithm to enhance the performance of a latent heat solar thermal system,” *Energy Convers Manag*, vol. 173, pp. 438–449, Oct. 2018, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2018.07.099.
- [64] W. Contreras, M. G. Galban, S. B. Sepúlveda, W. Contreras, M. G. Galban, and S. B. Sepúlveda, “Análisis estadístico de la radiación solar en la ciudad de Cúcuta,” *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 12, no. 23, pp. 16–22, Mar. 2018, doi: 10.31908/19098367.3698.
- [65] Y. Salas Reyes *et al.*, “Diseño técnico y económico de un banco de prueba solar fotovoltaico para generación de energía eléctrica de forma aislada,” *Prospectiva*, vol. 16, no. 2, pp. 82–88, Aug. 2018, doi: 10.15665/RP.V16I2.1653.
- [66] J. Aranguri-Cayetano, L. Delgado-Mariñes, and A. Banda-Castillo, “Importancia del seguimiento solar en las instalaciones fotovoltaicas,” *TecnoHumanismo, ISSN-e 2710-2394, Vol. 1, Nº. 9, 2021 (Ejemplar dedicado a: Energías Renovables), págs. 1-15*, vol.

- 1, no. 9, pp. 1–15, 2021, Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8179018&info=resumen&idioma=SPA>
- [67] R. D. Santos, M. Castro Fernández, A. Santos Fuentefría, and M. V. Llanes, “Influence analysis in the inclination angle into the photovoltaic power plant generation,” *Revista de Ingeniería Energética*, vol. 39, no. 3, 2018.
- [68] S. Soulayman, “Comments on solar azimuth angle,” *Renew Energy*, vol. 123, pp. 294–300, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.RENENE.2018.02.063.
- [69] A. Mahmood and J. L. Wang, “A Review of Grazing Incidence Small- and Wide-Angle X-Ray Scattering Techniques for Exploring the Film Morphology of Organic Solar Cells,” *Solar RRL*, vol. 4, no. 10, p. 2000337, Oct. 2020, doi: 10.1002/SOLR.202000337.
- [70] H. Li *et al.*, “Atmospheric correction of geostationary satellite ocean color data under high solar zenith angles in open oceans,” *Remote Sens Environ*, vol. 249, p. 112022, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.RSE.2020.112022.
- [71] C. Etukudor *et al.*, “Optimum Tilt and Azimuth Angles for Solar Photovoltaic Systems in South-West Nigeria,” *2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2018*, pp. 348–353, Nov. 2018, doi: 10.1109/POWERAFRICA.2018.8521047.
- [72] M. Z. Jacobson and V. Jadhav, “World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels,” *Solar Energy*, vol. 169, pp. 55–66, Jul. 2018, doi: 10.1016/J.SOLENER.2018.04.030.
- [73] E. J. M. Vásquez, “Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica,” *Revista Científica Pakamuros*, vol. 7, no. 2, pp. 73–88, Sep. 2019, doi: 10.37787/9PSAC759.
- [74] S. K. Loeb *et al.*, “The Technology Horizon for Photocatalytic Water Treatment: Sunrise or Sunset?,” *Environ Sci Technol*, vol. 53, no. 6, pp. 2937–2947, Mar. 2019, doi: 10.1021/ACS.EST.8B05041/ASSET/IMAGES/LARGE/ES-2018-05041U_0004.JPEG.
- [75] M. Makenzi, J. Muguthu, and E. Murimi, “Maximization of Site-Specific Solar Photovoltaic Energy Generation through Tilt Angle and Sun-Hours Optimization,” *Journal of Renewable Energy*, vol. 2020, pp. 1–11, Nov. 2020, doi: 10.1155/2020/8893891.
- [76] B. F. Camayo-Lapa *et al.*, “Estimación de la radiación solar global, mediante

- temperaturas extremas, aplicando el modelo Bristow-Campbell en la región Junín, Perú,” *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 27, no. 4, pp. 643–651, Dec. 2019, doi: 10.4067/S0718-33052019000400643.
- [77] “E490 Standard Solar Constant and Zero Air Mass Solar Spectral Irradiance Tables.” Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.astm.org/e0490-22.html>
- [78] A. J. Gutiérrez-Trashorras, E. Villicaña-Ortiz, E. Álvarez-Álvarez, J. M. González-Caballín, J. Xiberta-Bernat, and M. J. Suarez-López, “Attenuation processes of solar radiation. Application to the quantification of direct and diffuse solar irradiances on horizontal surfaces in Mexico by means of an overall atmospheric transmittance,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 93–106, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.RSER.2017.07.042.
- [79] A. Laguarda *et al.*, “Validación de modelos satelitales Heliosat-4 y CIM-ESRA para la estimación de irradiancia solar en la Pampa Húmeda,” *Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 48, pp. 1–9, 2021, Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: <https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/erma/article/view/2877>
- [80] Y. A. Çengel, “Termodinámica,” 2019, Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/85698>
- [81] L. Benali, G. Notton, A. Fouilloy, C. Voyant, and R. Dizene, “Solar radiation forecasting using artificial neural network and random forest methods: Application to normal beam, horizontal diffuse and global components,” *Renew Energy*, vol. 132, pp. 871–884, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.RENENE.2018.08.044.
- [82] C. Placco, M. D. Gea, M. Bonini, E. Gutiérrez, C. Fernández, and H. C. Suligoy, “Estudio geométrico de un horno solar para procesamiento de minerales a altas temperaturas,” *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 22, pp. 2–25, 2018, Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/108215>
- [83] N. Abdelnour, R. Braun, H. Torio, and U. Eicker, “Testing of uncovered solar thermal collectors under dynamic conditions and identification of performance parameters-for nocturnal radiative cooling applications,” *Solar Energy Advances*, vol. 3, p. 100038, 2023, doi: 10.1016/j.seja.2023.100038.
- [84] C. Qi, C. Li, K. Li, and D. Han, “Natural convection of nanofluids in solar energy collectors based on a two-phase lattice Boltzmann model,” *J Therm Anal Calorim*, vol.

- 147, no. 3, pp. 2417–2438, Feb. 2022, doi: 10.1007/S10973-021-10668-8/METRICS.
- [85] S. Marulanda-Meza and J. C. Burbano-Jaramillo, “Evaluación energética de un deshidratador solar tipo túnel para frutas,” *Revista UIS Ingenierías*, vol. 20, no. 2, pp. 31–44, Jan. 2021, doi: 10.18273/REVUIN.V20N2-2021003.
- [86] M. Simoncelli, N. Marzari, and A. Cepellotti, “Generalization of Fourier’s Law into Viscous Heat Equations,” *Phys Rev X*, vol. 10, no. 1, p. 011019, Mar. 2020, doi: 10.1103/PHYSREVS.10.011019/FIGURES/11/MEDIUM.
- [87] S. Maruyama and S. Moriya, “Newton’s Law of Cooling: Follow up and exploration,” *Int J Heat Mass Transf*, vol. 164, p. 120544, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2020.120544.
- [88] S. Aghakhani, A. H. Pordanjani, A. Karimipour, A. Abdollahi, and M. Afrand, “Numerical investigation of heat transfer in a power-law non-Newtonian fluid in a C-Shaped cavity with magnetic field effect using finite difference lattice Boltzmann method,” *Comput Fluids*, vol. 176, pp. 51–67, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.COMPFLUID.2018.09.012.
- [89] G. K. Manikandan, S. Iniyan, and R. Goic, “Enhancing the optical and thermal efficiency of a parabolic trough collector – A review,” *Appl Energy*, vol. 235, pp. 1524–1540, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.APENERGY.2018.11.048.
- [90] Z. D. Cheng, X. R. Zhao, and Y. L. He, “Novel optical efficiency formulas for parabolic trough solar collectors: Computing method and applications,” *Appl Energy*, vol. 224, pp. 682–697, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.APENERGY.2018.05.033.
- [91] A. Ahmadi *et al.*, “Recent progress in thermal and optical enhancement of low temperature solar collector,” *Energy Systems 2021 14:1*, vol. 14, no. 1, pp. 1–40, Aug. 2021, doi: 10.1007/S12667-021-00473-5.
- [92] M. M. A. Khan, N. I. Ibrahim, I. M. Mahbubul, H. Muhammad. Ali, R. Saidur, and F. A. Al-Sulaiman, “Evaluation of solar collector designs with integrated latent heat thermal energy storage: A review,” *Solar Energy*, vol. 166, pp. 334–350, May 2018, doi: 10.1016/J.SOLENER.2018.03.014.
- [93] H. J. Xu, Z. B. Xing, F. Q. Wang, and Z. M. Cheng, “Review on heat conduction, heat convection, thermal radiation and phase change heat transfer of nanofluids in porous media: Fundamentals and applications,” *Chem Eng Sci*, vol. 195, pp. 462–483, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.CES.2018.09.045.

- [94] L. Xingcai and N. Kun, “Effectively predict the solar radiation transmittance of dusty photovoltaic panels through Lambert-Beer law,” *Renew Energy*, vol. 123, pp. 634–638, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.RENENE.2018.02.046.
- [95] D. C. Mex Álvarez *et al.*, “El desarrollo cognoscitivo de la parábola según Bruner, con el empleo de software educativo,” *Revista Científica UISRAEL*, vol. 8, no. 1, pp. 137–155, Jan. 2021, doi: 10.35290/RCUI.V8N1.2021.402.
- [96] W. Carrión-Chamba, W. Murillo-Torres, A. Montero-Izquierdo, W. Carrión-Chamba, W. Murillo-Torres, and A. Montero-Izquierdo, “Una revisión de los últimos avances de los colectores solares térmicos aplicados en la industria,” *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, vol. 2022, no. 27, pp. 59–73, Jan. 2022, doi: 10.17163/INGS.N27.2022.06.
- [97] INAMHI, “Pronóstico de radiación ultravioleta.”
- [98] CONELEC, “Atlas Solar del Ecuador.”
- [99] I. Simbaña, W. Quitiaquez, J. Estupiñán, F. Toapanta-Ramos, and L. Ramírez, “Evaluación del rendimiento de una bomba de calor de expansión directa asistida por energía solar mediante simulación numérica del proceso de estrangulamiento en el dispositivo de expansión,” *Revista Técnica “energía,”* vol. 19, no. 1, pp. 110–119, Jul. 2022, doi: 10.37116/REVISTAENERGIA.V19.N1.2022.524.
- [100] W. Quitiaquez *et al.*, “Análisis del rendimiento termodinámico de una bomba de calor asistida por energía solar utilizando un condensador con recirculación,” *Revista Técnica “energía,”* vol. 16, no. 2, pp. 111–125, Jan. 2020, doi: 10.37116/REVISTAENERGIA.V16.N2.2020.358.
- [101] I. Simbaña, W. Quitiaquez, P. Cabezas, and P. Quitiaquez, “Comparative Study of the Efficiency of Rectangular and Triangular Flat Plate Solar Collectors through Finite Element Method,” *Revista Técnica “Energía,”* vol. 20, no. 2, pp. 81–89, 2024, doi: 10.37116/revistaenergia.v20.n2.2024.593.
- [102] ARCERNNR, “Pliego Tarifario de Servicio Público de Energía Eléctrica.”
- [103] ARCERNNR, “Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano.”
- [104] PetroEcuador, “Precio en Venta para las Comercializadoras Calificadas y Autorizadas a Nivel Nacional.”
- [105] Banco Central del Ecuador, “Reporte Mensual de Inflación.”