

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN ENERGIA



**Diseño y construcción de un colector cilíndrico parabólico para
uso de la energía solar en el calentamiento de agua**

TESIS

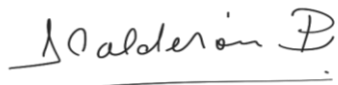
**PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN ENERGIA**

Investigador:
Mag. Calderón Bacón, Jorge Luis

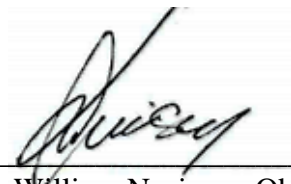
Asesor:
Dr. Oscar William. Neciosup Obando

Lambayeque, julio de 2023

Diseño y construcción de un colector cilíndrico parabólico para uso de la energía solar en el calentamiento de agua



Mag. Jorge Luis Calderón Bacón
Autor



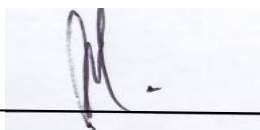
Dr. Oscar William Neciosup Obando
Asesor

Tesis presentada a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo para optar el Grado Académico de: DOCTOR EN INGENIERIA MECANICA ELECTRICA CON MENCIÓN EN ENERGIA

Aprobado por:



Dr. Arnulfo Cieza Ramos
Presidente del jurado



Dr. Santos Henry Guevara Quiliche
Secretario del jurado



Dr. Cesar Alberto García Espinoza
Vocal del jurado

Lambayeque, julio de 2023

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

155

Siendo las 4:00 p.m. horas del día JUEVES 20 de JULIO del año Dos Mil veinty tres, en la Sala de Sustentación de la Escuela de Posgrado de la

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, se reunieron los miembros del Jurado, designados mediante Resolución N° 115-2023-EPC de fecha 03-Feb-2023, conformado por:

<u>Dr. Arnulfo Cieza Ramos</u>	PRESIDENTE (A)
<u>Dr. SANTOS HENRY GUEVARA Quiliche</u>	SECRETARIO (A)
<u>Dr. CESAR ALBERTO GARCIA ESPINOZA</u>	VOCAL
<u>Dr. OSCAR WILLIAM NECIOSUP OBANDO</u>	ASESOR (A)

Con la finalidad de evaluar la tesis titulada

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN COLECTOR CILINDRICO
PARABOLICO PARA USO DE LA ENERGIA SOLAR EN EL
CALENTAMIENTO DE AGUA

presentado por el (la) Tesisista Msc. JORGE LUIS COLDERON BACON

sustentación que es autorizada mediante Resolución N° 661-2023-EPC de fecha Lambayeque, 17 de Julio de 2023

El Presidente del jurado autorizó del acto académico y después de la sustentación, los señores miembros del jurado formularon las observaciones y preguntas correspondientes, las mismas que fueron absueltas por el (la) sustentante, quien obtuvo 17 puntos que equivale al calificativo de BUENO.

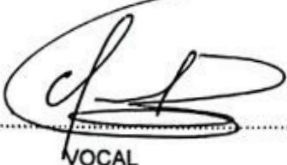
En consecuencia el (la) sustentante queda apto (a) para obtener el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA Y ELECTRONICA
CON MENCION EN ENERGIA

Siendo las 5:10 p.m. horas del mismo día, se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta.


PRESIDENTE


SECRETARIO


VOCAL


ASESOR

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

YO, OSCAR WILLIAM NECIOSUP OBANDO, usuario revisor del documento titulado:

“Diseño y construcción de un colector cilíndrico parabólico para uso de la energía solar en el calentamiento de agua”.

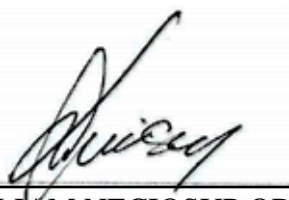
Cuyo autor es, Mag. Calderón Bacón, Jorge Luis

Identificado con documento de identidad 18851766; declaro que la evaluación realizada por Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de 12 %, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

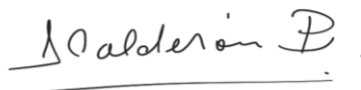
Lambayeque, 05 de julio del 2023



OSCAR WILLIAM NECIOSUP OBANDO

DNI: 17898187

ASESOR



JORGE LUIS CALDERON BACON

DNI: 18851766

AUTOR

Dedicatoria

Dedico de todo corazón este trabajo a mi madre,

mi padre y hermana QPD

a mi hija Daniela y Sandra su madre.

Porque sin ellos mi éxito no hubiera sido posible.

Sus bendiciones diarias a lo largo de mi vida

me protegen y me guían por el camino del bien.

Por eso, os doy mi trabajo como ofrenda

a vuestra paciencia y amor.

.

Agradecimiento

A Dios

por haberme hecho llegar hasta aquí, por darme buena salud,
por lograr mis metas, por guiar a personas maravillosas en mi camino,
y por las bendiciones y regalos que recibo cada día.

A Rosa Angelica, mi madre

por siempre apoyarme, por sus consejos, por sus valores,
por su constante motivación en ayudarme a ser una buena persona,
a ella le debo todo y sobre todo por su amor

A la memoria de Don Daniel Calderón Jave, mi padre y

a mi hermana Esther QPD

por el ejemplo de tenacidad y perseverancia que lo hizo sobresalir,
por la valentía que demostró para inspirarme siempre a seguir adelante,
por su amor, porque todo lo que soy se lo debo a él.

A Daniela y Sandra, mi hija y su madre,

por su confianza, por su ejemplo de vida y por su apoyo incondicional

Quiero también dar gracias

a las personas que me han ayudado a realizar este proyecto
y especialmente a mi asesor el Dr. Oscar Neciosup Obando,

a M. Sandoval y J. Blas

A todos ellos,

muchas gracias de todo corazón.

Índice General

Acta de sustentación (copia).....	iii
Declaración jurada de originalidad.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Índice General.....	vii
Índice de Tablas.....	viii
Índice de Figuras	ix
Índice de Anexos	x
Nomenclatura.....	xi
Resumen	xiii
Abstract.....	xiv
Introducción.....	15
Capítulo I. Diseño Teórico	17
1.1 Antecedentes de la Investigación	17
1.2 Base Teórica.....	19
1.3 Hipótesis.....	43
Capítulo II. Métodos y Materiales	46
2.2 Método de Investigación	46
2.4 Población, Muestra y Muestreo.....	47
2.5 Técnicas, Instrumentos, Equipos y Materiales de Recolección de Datos	47
2.6 Procesamiento y Análisis de Datos	50
Capítulo III. Resultados.....	55
Capítulo IV. Discusión	67
Conclusiones.....	69
Recomendaciones	70
Referencias Bibliográficas.....	71
Anexos.....	73

Índice de Tablas

Tabla 1.1. Características del sol

Tabla 1.2. Equivalencias de la constante solar establecidas

Tabla 1.3. Instrumentos meteorológicos de medida de radiación

Tabla 1.4: Clasificación de Colectores Solares y sus ratios de concentración

Tabla 3.1: Resultado de la evaluación del concentrador. 23/03/2023

Tabla 3.2: Resultado de la evaluación del concentrador. 14/04/2023

Tabla 3.3: Resultado de la evaluación del concentrador. 28/04/2023

TABLA 3.4: Registro de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) para el Agua y la Radiación solar ($\text{cal}/\text{min}.\text{cm}^2$) para el día 23 de marzo del 2023

TABLA 3.5: Registro de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) para el Agua y la Radiación solar. ($\text{cal}/\text{min}.\text{cm}^2$) para el día 14 de abril del 2023. (día nublado)

TABLA 3.6: Registro de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) para el Agua y la Radiación solar ($\text{cal}/\text{min}.\text{cm}^2$) para el día 28 de abril del 2023

Índice de Figuras

Figura 1.1. Máquina de vapor alimentada por energía solar de Mouchot

Figura 1.2. Ciclo de vida del sol

Figura 1.3. Espectro de la Radiación

Figura 1.4. Componentes de la radiación solar terrestre total

Figura 1.5. Variación de la posición solar según la estación del año

Figura 1.6: Órbita de la tierra alrededor del sol, con su eje N-S inclinado un ángulo de 23.5°

Figura 1.7. Distintos componentes del colector de placa plana

Figura 1.8. Esquema de un tubo absorbente en vacío típico de un colector cilindro parabólico

Figura 1.9. Estructura de un CPC

Figura 1.10 Reflector disco parabólico

Figura 1.11: Colector cilindro parabólico

Figura 1.12: Imagen reflejada teórica del sol para un CCP

Figura 1.13: Ángulo de aceptación y de apertura en un colector

Figura 1.14: Diseño del colector cilíndrico Parabólico

Figura 3.1: Variación de la Radiación solar, la temperatura y tiempo

Figura 3.2: Variación de la temperatura y el tiempo

Figura 3.3: Variación de la Radiación solar, la temperatura y el tiempo

Figura 3.4: Variación de la temperatura y el tiempo

Figura 3.5: Variación de la Radiación solar, la temperatura y el tiempo

Figura 3.6: Variación de la temperatura y el tiempo

Índice de Anexos

Anexo 1: Datos Básicos de la construcción del CCP

Anexo 2: Instrumentos de Recolección de Datos

Anexo 3: Formato de Tabulación de Datos

Anexo 4: Rúbricas de Expertos de Instrumentos de Recolección de Datos

Nomenclatura

CPC Concentrador Parabólico Compuesto Solar

A Apertura de la parábola del concentrador solar (m)

A_a Área de apertura del concentrador solar (m^2)

A_f Factor de pérdidas de área en el concentrador solar (m^2)

A_r Área externa del tubo absorbedor (m^2)

C_p Capacidad calorífica del fluido de trabajo (J/(kg K))

D_i Diámetro interno del tubo (cm)

D_e Diámetro externo del tubo absorbedor (cm)

f Distancia focal de la parábola del concentrador solar (m)

F_R Factor de flujo del concentrador solar

G_b Irradiación solar directa (W/m^2)

L Longitud del concentrador solar (m)

\dot{m} Flujo másico (kg/s)

Q_p Flujo de calor perdido del tubo absorbedor (W)

Q_{u1} Flujo de calor obtenido por el fluido de trabajo (W)

Q_{u2} Flujo de calor entregado por el concentrador solar (W)

I Irradiación solar que llega al tubo absorbedor (W/m^2)

T_a Temperatura ambiente ($^{\circ}C$)

T_{fe} Temperatura del fluido de trabajo al salir del concentrador ($^{\circ}C$)

T_i Temperatura del fluido de trabajo al ingresar al concentrador ($^{\circ}C$)

ΔT Variación de temperatura (K)

U_L Coeficiente de pérdidas totales del concentrador solar ($W/(m^2 K)$)

γ Factor de intercepción

k Coeficiente de conductividad térmica del material (W/m K)

ρ Densidad del fluido (kg/m³)

D_{int}, D_{ext} Diámetro interior, Diámetro exterior (m)

A_s Área superficial (m²)

η_{ef} Eficiencia térmica

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo realizar el diseño y construcción de un colector cilíndrico parabólico para el uso de la energía solar en el calentamiento de agua, el cual se localiza en la estación meteorológica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, en Lambayeque, con un método de investigación experimental de tipo aplicada. Los resultados fueron que el colector cilíndrico parabólico que se construyó tiene un área de trabajo que representa el 4.03% del área total del concentrador, pero se alcanzó una eficiencia de 16,77%; la idea es usarlo en el hogar. Para el día 23 de marzo, el tiempo que tomó la temperatura máxima fue aproximadamente 27,30 min, con una radiación promedio de 1,39 cal/min.cm², y con un rendimiento promedio de 3.93 l/h de agua caliente a 53.06 °C. El día 14 de abril estuvo nublado, el tiempo que tomó la temperatura máxima fue aproximadamente 36 min, con una radiación promedio de 0,61 cal/min.cm², y un rendimiento promedio de 3.93 l/h de agua caliente a 40.31 °C. Y, el día 28 de abril, el tiempo que tomó la temperatura máxima fue aproximadamente 14,30 min, con una radiación promedio de 1,24 cal/min.cm², y un rendimiento promedio de 4.04 l/h de agua caliente a 53.15 °C. Este estudio tiene el propósito de usar energías renovables como la energía solar para calentar agua y así reducir las emisiones de CO₂ con el uso de este tipo de energías.

Palabras clave: Energía termo-solar, colector cilíndrico parabólico, temperatura, y tiempo.

Abstract

The objective of this research work is to carry out the design and construction of a parabolic cylindrical collector for the use of solar energy in water heating, which is located in the meteorological station of the Pedro Ruiz Gallo National University, in Lambayeque, with an applied experimental research method. The results were that the parabolic cylindrical collector that was built has a work area that represents 4.03% of the total area of the concentrator, but an efficiency of 16.77% was achieved; the idea is to use it at home. On March 23, the time taken by the maximum temperature was approximately 27.30 min, with an average radiation of $1.39 \text{ cal/min.cm}^2$, and with an average yield of 3.93 l/h of hot water at 53.06°C . April 14 was cloudy, the time that the maximum temperature took was approximately 36 min, with an average radiation of $0.61 \text{ cal/min.cm}^2$, and an average yield of 3.93 l/h of hot water at 40.31°C . And on April 28, the time that the maximum temperature took was approximately 14.30 min, with an average radiation of $1.24 \text{ cal/min.cm}^2$, and an average yield of 4.04 l/h of hot water at 53.15°C . This study has the purpose of using renewable energies such as solar energy to heat water and thus reduce CO_2 emissions with the use of this type of energy.

Keywords: Solar thermal energy, parabolic trough collector, temperature, and time.

Introducción

La energía solar es la fuente de energía más disponible en casi la totalidad del territorio peruano. En la mayoría de los lugares de Perú, la disponibilidad de energía solar es muy alta en comparación con otros países y bastante estable durante todo el año, lo que hace atractivo el uso de la energía solar. En general, según Comunicacion Institucional, D. (2017, marzo 1). “los promedios anuales son 5-6 kWh/m² día en la costa y selva 4,5-5 kWh/m² día norte-sur” (pag 1). Este proyecto tuvo la intención de darle la importancia y el gran cuidado que tiene este tipo de energía. Actualmente es demasiada la contaminación que existe a base de combustiones fósiles.

Para producir energía solar no hace falta ningún tipo de proceso químico ni se expulsan sustancias contaminantes a la atmósfera, como en el caso de los combustibles fósiles. Es decir, la energía solar no contamina, no contribuye al calentamiento global ni al efecto invernadero.

La población crece y utiliza cada día más recursos no renovables. Las necesidades tecnológicas y energéticas del país para reducir e intentar eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero pueden satisfacerse con fuentes de energía renovables con escaso efecto medioambiental. La preocupación mundial por el cambio climático, los problemas medioambientales, la contaminación industrial y las plantas de procesamiento de petróleo y gas anima a la población a utilizar energías renovables y solares, que cada vez son más importantes para garantizar las necesidades humanas y promover al mismo tiempo el desarrollo económico.

“Desde siempre, el sol es la fuente principal de energía para la Tierra. Es la energía más poderosa y estudiada, además de ser una de las protagonistas indiscutidas de la transición energética.

Algunas de las ventajas de la energía solar son comunes a muchas otras fuentes renovables. La más importante es la de proteger a nuestro planeta del cambio climático: recoger y aprovechar los rayos del sol permite reducir el uso de combustibles fósiles” (Enelgreenpower, 2021)

Implementar colectores cilíndricos parabólicos que generen energía a partir de radiación solar implica un gran avance para nuestra sociedad, es dejar atrás la generación del exceso de gases de invernadero que afectan directamente a la atmósfera e indirectamente a todos los seres vivos del planeta.

Con este trabajo, se espera estimular una mayor investigación en el campo de la energía solar térmica y avanzar en el desarrollo industrial a gran escala de esta tecnología limpia.

Estos sistemas están diseñados para diferentes aplicaciones como proveer energía eléctrica a la red o para usos térmicos a nivel industrial a través de la transferencia de calor.

Este trabajo se divide en 4 capítulos. En el primer capítulo se aborda el estudio conceptual de la radiación solar. Estas ideas son necesarias para comprender la cantidad de radiación solar que puede captarse con un colector solar.

El segundo capítulo presenta los métodos y materiales, el procesamiento y análisis de datos.

En el tercer capítulo se presentan los resultados obtenidos del colector cilíndrico parabólico.

En el cuarto capítulo se hace referencia a la discusión, conclusiones y recomendaciones.

Y por último se presentan los anexos.

Capítulo I.

1.1 Antecedentes de la Investigación

La fuente de vida y de otras formas de energía que el ser humano ha utilizado desde la historia es el sol. Podemos satisfacer todas nuestras necesidades si aprendemos a utilizar sabiamente la luz que emite continuamente en la Tierra. Según los cálculos, no se ha alcanzado ni la mitad de su existencia lleva ya unos cinco mil millones de años ardiendo en el cielo (Echevarría, 2011).

Fueron los griegos los primeros que usaron diseños de casas para aprovechar la luz solar en forma pasiva, probablemente en el año 400 A.C. La primera referencia histórica que se puede encontrar al uso de la energía solar se encuentra en la antigua Grecia con Arquímedes (Arancibia et al., 2010).

Internacional.

Según Castillo y Gómez (2016) en su investigación titulada Colector cilíndrico Parabólico para la esterilización del suelo con vapor de agua sobre semillas de malezas. El estudio se llevó a cabo en el año 2014 en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) de la Universidad de Costa Rica.

Según Paredes (2012) su objetivo fue proponer un sistema de refrigeración por aire de frutas y verduras totalmente renovable que funcionara con un colector solar cilindroparabólico. Llegaron a la conclusión de que, utilizando este diseño, la agricultura familiar no se vería gravemente perjudicada al intentar competir con la agricultura industrial por una cuota de mercado, ya que la venta de alimentos deshidratados abre un nuevo mercado. El proyecto se está llevando a cabo a pequeña escala, pero podría ampliarse a una escala mayor para permitir un uso más intensivo de los productos alimenticios.

Por lo que podemos apreciar que con esta técnica se pueden beneficiar pequeños agricultores y así poder competir con empresas grandes dedicadas a este rubro.

Según Bagarroza (2002) su objetivo fue la construcción de un colector cilíndrico parabólico, que va a permitir hacer un estudio más cercano en lo que se refiere a la transferencia de calor, de forma práctica y didáctica. Llegando a la conclusión de que al analizar los colectores solares alcanzan una mayor eficiencia (altísimas temperaturas) al utilizar precalentadores y sufren cambios en el diseño de los colectores que lo usan. Este colector no fue construido con fines comerciales sino con propósitos didácticos. Es importante que en los centros de enseñanza técnica y superior conozcan las bondades de esta energía limpia y puedan aplicarlo.

Nacional

En el Perú Echevarría (2011) su objetivo fue el diseño óptimo de un colector cilindro parabólico compuesto del tipo estacionario que permita aprovechar la radiación solar para elevar la temperatura de un determinado volumen de agua el trabajo fue netamente teórico, llegando a las siguientes conclusiones: El papel de este concentrador como componente principal obliga a ver el colector cilindro parabólico integrado como una opción viable tanto desde el punto de vista económico como energético un gran potencial solar, los resultados de este estudio apoyan teóricamente los beneficios potenciales del uso de la tecnología en la región. Sin embargo, dado que nuestro colector solar está diseñado para ser estacionario, tendrá una menor concentración porque será menos capaz de seguir el movimiento del sol y, por tanto, captará menos radiación directa.

1.2 Base Teórica

1.2.1 Energía Solar

Según Arancibia et al. (2010) manifestaron que el sol es la fuente de energía que mantiene vivo el planeta Tierra. Emite continuamente 62 mil 600 kilovatios (o kilowatts) por metro cuadrado de su superficie. Esto ha estado ocurriendo a lo largo de 4.500.000.000 de años, y se espera que continúe durante otros 5.000.000.000 de años. Esto es casi infinito en términos de la existencia de la humanidad. En realidad, el planeta recibe en sólo dos días una cantidad de energía equivalente a todas las reservas conocidas de petróleo, gas y carbón juntas. Esto nos da una idea del asombroso potencial que tiene la energía solar para satisfacer la demanda energética mundial, ya que es unas 60 veces superior a la cantidad que la sociedad consume anualmente.

"Un ejemplo es la energía termosolar, que convierte la energía solar en electricidad. Una central termosolar funciona mediante un ciclo termodinámico formado por una serie de helióstatos adecuadamente orientados que se colocan en el suelo.

Estos espejos reflejan la radiación solar que incide sobre ellos, para que toda la energía sea transportada al mismo tiempo (Echevarría, 2011)

1.2.1.1 Historia de la energía solar en el mundo

1.2.1.1.1 Principales hitos de la energía solar fotovoltaica

Según López (2023) manifestó una serie de experimentos de Heinrich Hertz, le permitieron crear en 1887 células fotovoltaicas capaces de convertir la luz en electricidad, lo que quedó demostrado. En 1893 se descubrió el efecto fotovoltaico por Edmond Becquerel y observó que ciertos materiales podían convertir la luz en corriente eléctrica.

En 1905, Albert Einstein discutió el efecto fotoeléctrico y lo relacionó con la producción de electricidad en celdas solares.

El procedimiento de Czochralski ("método para obtener cristales de silicio de alta pureza") hizo que el comercio fotovoltaico aumente de nivel.

Investigadores de los Laboratorios Bell de Murray Hill (D.M. Chapin, C.S. Fuller y G.L., 1954) lograron producir la primera célula solar de silicio capaz de generar una corriente eléctrica controlable. Las células solares se utilizaron en aviones y satélites durante la guerra fría.

En 2002 se instalaron en Japón 25.000 paneles solares en los tejados de las viviendas expandidas en todo el país. Las inversiones en energía solar y eólica superaron los 20.000 millones de dólares anuales en 2003.

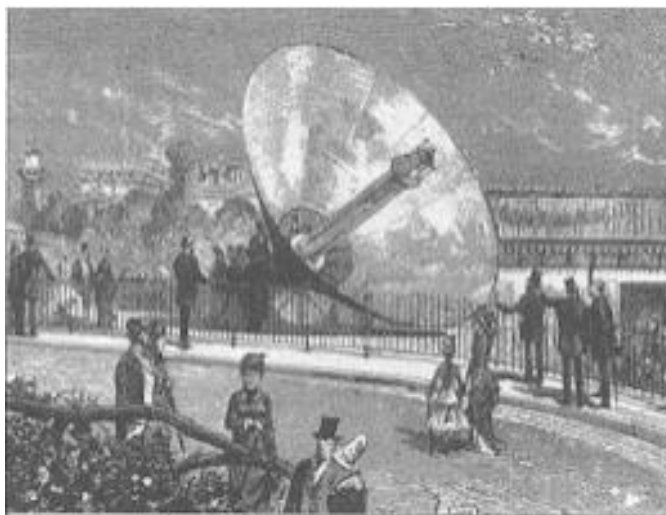
Planas (2015) comunicó que en el 2009 se instalaron más de 20.000 MW de sistemas fotovoltaicos en todo el mundo, lo que equivale a 20 grupos teóricos de centrales nucleares.

1.2.1.1.2 Historia de la energía termosolar

En la antigua Grecia y China se utilizaban objetos esféricos y recipientes de cristal para aprovechar los rayos del sol y crear fuego. La misma táctica se utilizó durante el conflicto para incendiar barcos enemigos. A principios del siglo XX se inventaron máquinas sencillas que funcionaban concentrando el calor solar (Echevarría, 2011).

El gobierno francés encargó a Mouchot la construcción de una gran turbina de energía solar en 1878 para la Exposición Internacional de París. Ganó una medalla de oro olímpica por demostrar que era tan impresionante que se podía extraer hielo del calor solar concentrado. La figura 1.1 muestra los colectores solares que utilizó Mouchot. Consisten en un receptor parabólico de grandes dimensiones que concentra la radiación solar en un único punto y se cubre de espejos. El calor generado alimenta un generador de vapor (Bustos, 2020)

Figura 1.1. Máquina de vapor alimentada por energía solar de Mouchot



Fuente: Portal de energías renovables. Historia de la energía térmica. Parte I

En 1913, el estadounidense Frank Schuman construyó en Meadi (Egipto) la primera instalación de bombeo alimentada por energía solar. El sistema utilizaba cinco grandes reflectores de 62 metros de largo, cada uno con fragmentos de vidrio, para crear un cilindro que parecía estar hecho de formas parabólicas. Cada reflector enfocaba la luz del sol sobre un tubo de la misma longitud, calentando el agua que había sido transportada a través de él. El vapor producido hacía funcionar un motor conectado al dispositivo.

El sistema distribuyó con éxito 6000 galones de agua por minuto desde el Río Nilo a lugares cercanos.

La crisis del petróleo de los años 70 marcó el inicio de la era moderna de la energía solar. Jimmy Carter, entonces presidente de Estados Unidos, decidió promover plantas de energía solar concentrada conocidas como SEGS (Solar Energy Generating Systems) e instalar calentadores de agua solares térmicos en el tejado de la Casa Blanca (Echevarría, 2011).

En 1984, se construyó la primera instalación SEGS-1 en California. Estos tipos de plantas funcionan con un sistema de colectores cilíndricos parabólicos. El SEGS consta de un campo solar que consta de filas paralelas de colectores cilindro parabólicos conectados en serie que convierten la energía solar en energía térmica, por lo que el aceite circula a través de los

tubos absorbentes de los colectores solares para calentarse. El aceite caliente se envía a un intercambiador de calor donde se produce vapor sobrecalentado. Este vapor es necesario para accionar un turbogenerador y de esta manera se produce energía eléctrica. Varias naciones se dedican actualmente a la producción de energía solar térmica, utilizando colectores solares parabólicos cilíndricos y dispositivos de captación de la radiación. Uno de ellos es Estados Unidos, que cuenta con centrales en funcionamiento o en construcción (*Primera planta solar de la historia*, 2022)

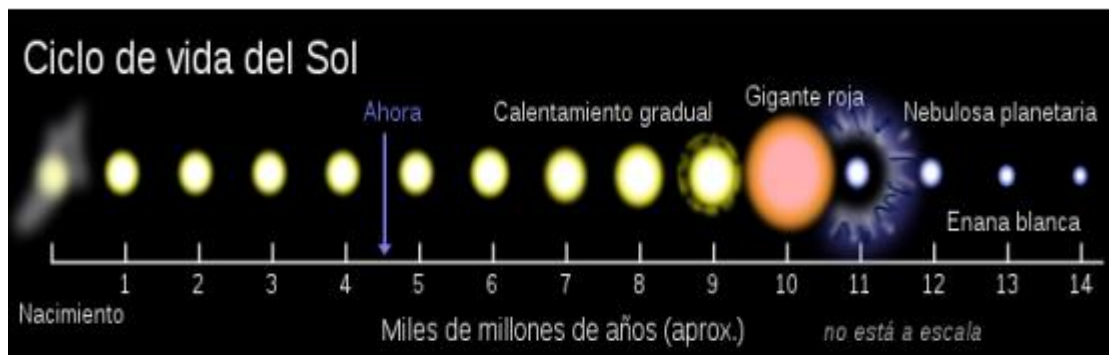
1.2.1.2 El sol

Como sugiere su nombre, la radiación o energía solar tiene al Sol como fuente principal, y se origina dentro de él. Aquí la temperatura (15×10^6 °C; 27×10^6 °F) y la presión (340×10^9 veces la presión del aire en la Tierra al nivel del mar) son tan altas que se producen reacciones nucleares. Estas reacciones hacen que cuatro protones o núcleos atómicos de hidrógeno se combinen y generen una partícula alfa o núcleo de helio. La masa de la partícula alfa es aproximadamente un 0,7% inferior a la de los cuatro protones. La diferencia de masa se convierte en energía y se transporta a la superficie del sol mediante un proceso denominado convección, que libera luz y calor. La energía producida en el centro solar tarda un millón de años en llegar a la superficie del sol. Cada segundo, 700 millones de toneladas de hidrógeno se convierten en cenizas de helio. En el proceso se liberan 5 millones de toneladas de energía pura. Por lo tanto, el sol se vuelve más y más ligero. “La producción de energía proviene de la pérdida de masa del sol, esto se convierte en energías según la famosa ecuación de Einstein $E = mc^2$ ”. donde “E=energía”, “m=masa” y “c=velocidad de la luz”. “Más del 99% de la materia del sistema solar está contenida en el Sol. Ejerce una fuerza de atracción gravitatoria sobre los planetas, haciendo que giren a su alrededor” (Portillo, 2021).

Hace 4650 millones de años se formó esta estrella y seguirá ardiendo durante otros 5000 millones de años. Después, seguirá creciendo hasta convertirse en un gigante rojo.

Ver Figura 1.2

Figura 1.2. Ciclo de vida del sol



Fuente: Future Human. Artículo: La muerte del sol

El núcleo del Sol, o la región situada en el 23% central del espectro radioelétrico, sólo ocupa el 15% del volumen, pero contiene el 40% de la masa y genera el 90% de la energía. Recordemos que la densidad del agua es de 10^3 kg/m^3 y que la temperatura en esta región oscila entre 10^7 K y 10^5 K .

A una distancia del 70% del radio del sol, la temperatura es del orden de 10^5 K y la densidad es de unos 70 kg/m^3 . La zona entre el 70% y el 100% del radio solar se conoce como zona convectiva, su temperatura baja al rango de 5000 a 6000 K y la densidad baja a 10^{-5} kg/m^3 . La capa exterior de esta región se llama fotosfera, y es una región opaca, por lo que se considera la superficie del sol, desde aquí la mayor parte de la radiación solar se emite al espacio (Arancibia et al., 2010).

Al ser opaco, es imposible ver dentro de la fotosfera, que es la porción visible del Sol. Pero como el Sol es gaseoso desde su núcleo hasta su superficie, es obvio que el Sol no tiene una superficie físicamente definida como la Tierra. Además, los gases están presentes en la fotosfera en el estado esencialmente transparente conocido como corona solar, y se han visto

durante eclipses solares totales. La atmósfera solar se denomina corona solar. Al igual que en la Tierra, cuando el núcleo del Sol se aleja, la corona se debilita aún más, llegando a confundir el vacío relativo en la órbita del asteroide (Portillo, 2021).

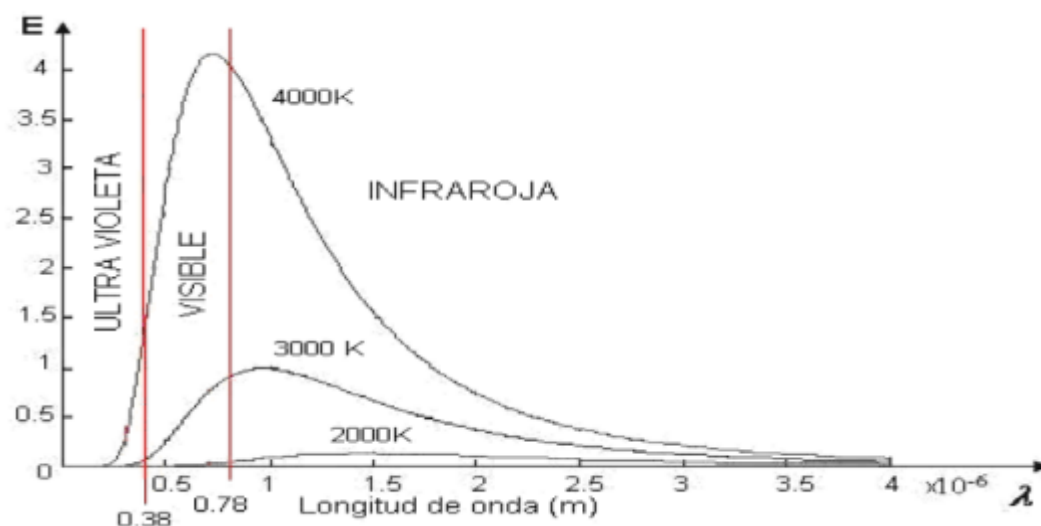
En la tabla 1.1 se presentan datos del sol.

Tabla 1.1. Características del sol

	Sistema Internacional	Sistema Americano
Temperatura superficial:	5 500 °C	9 900 °F
Temperatura interior:	$8 \times 10^6 - 40 \times 10^6$ °C	$14 \times 10^6 - 72 \times 10^6$ °F
Diámetro promedio:	1.39×10^9 m.	863 750 millas
Distancia promedio a la tierra:	$1.495 \times 10^{11} \pm 1.7\%$ m.	93 millones millas
Constante solar	1 367 W/m ²	7.23 BTU/min.ft ²
Masa:	2×10^{30} kg.	4.4×10^{30} lb
Densidad media:	1.41 kg/m ³	0.089 lb/ft ³

El Sol tiene una temperatura superficial de unos 5500 °C. En consecuencia, la longitud de onda máxima de la radiación es de 491 nm. El término "radiación" se refiere a la liberación continua de energía desde la superficie de cualquier cuerpo. Esta energía es transportada a través del espacio por ondas electromagnéticas que se mueven a una velocidad de 3×10^8 metros por segundo. Las distintas regiones del espectro electromagnético están formadas por ondas de radio, rayos infrarrojos, luz visible, luz ultravioleta, rayos X y gamma, y otras fuentes de luz (Echevarría, 2011).

Estas regiones se muestran en la Figura 1.3

Figura 1.3. Espectro de la Radiación

1.2.1.3 La Constante solar (G_{sc})

El flujo luminoso, flujo de energía que afecta a la superficie de la Tierra, viene determinado por la combinación de tres factores: la distancia entre la Tierra y el Sol, el diámetro del Sol y su temperatura.

La cantidad de energía disponible viene determinada por la constante solar G_{sc} . Es el flujo de energía solar que se desplaza por el espacio y el tiempo en el plano perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar a una distancia media de la Tierra al Sol, fuera de toda atmósfera. El Centro Mundial de Radiación (WRC) acepta la misma y más reciente medición, que sitúa el valor de la constante solar en 1367 W/m^2 . La constante solar aceptada por el WRC se muestra en la Tabla 1.2. Este valor tiene en cuenta tanto la potencia irradiada del sol P como la superficie S de la tierra, según las siguientes definiciones: $I = P/S = 4 \times 10^{26} / 4\pi (1,5 \times 10^{11})^2 = 1,4 \text{ kWm}^{-2}$, lo que implica una distancia media entre el sol y la tierra de $1,5 \times 10^{11}$ metros.

Tabla 1.2. Equivalencias de la constante solar establecidas

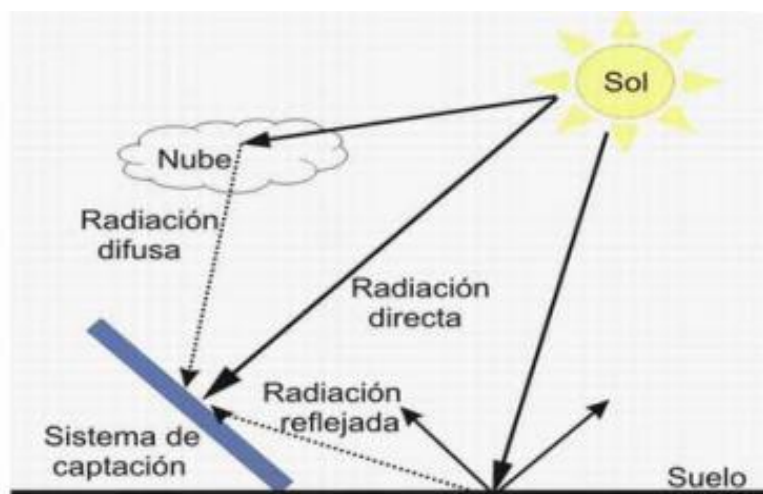
W/m^2	$Cal/cm^2 \cdot min$	Langley/min	BTU/h.pie ²	$KJ/h.m^2$
1367	1.96	1.960	433.3	4921

1.2.1.4 Tipos de radiación

- **Emisión Directa:** Recibida directamente del sol en línea recta sin deflexión a su paso por la atmósfera.
- **Radiación difusa:** Radiación que cambia de dirección a medida que penetra en la atmósfera terrestre y llega a la superficie. Esta desviación de los rayos del sol es causada por colisiones directas con ciertas moléculas y partículas contenidas en el aire. “Es una radiación difusa recibida a través de las nubes, similar a la que proviene del cielo azul”. Sin radiación difusa, el cielo también aparece negro aun de día, como sucede con la Luna (Echevarría, 2011).
- **Radiación Terrestre o Reflejada o "Albedo":** Radiación emitida por objetos terrestres. Por ejemplo, lo que refleja paredes blancas, charcos, reflejos en lagos, etc.
- **Radiación Total:** Esta es la suma de toda la radiación directa, difusa y 'albedo'. La radiación de "albedo" se tiene en cuenta cuando se trabaja cerca de otra superficie reflectante, como el océano o una superficie cubierta de nieve. Además de la radiación directa y difusa. Por ejemplo, la radiación directa del sol puede golpear una pared o ventana, ser dispersada por las nubes o el cielo y recibir luz adicional reflejada de otro objeto frente a la pared o ventana. Un caso especial, pero que en realidad es de gran interés en el estudio de la energía solar, es la medición de la radiación total "como se ve" en el plano horizontal. En este caso, no habría emisión de "Albedo", también llamada radiación

global. Entonces, “la radiación solar global es la suma de la radiación solar directa y difusa” (Planas, 2015). Ver Figura 1.4.

Figura 1.4. Componentes de la radiación solar terrestre total.



Fuente: Sistema híbrido eólico-fotovoltaico (SHEFV) de baja potencia

1.2.1.4.1 Irradiancia

La irradiancia se utiliza para expresar la potencia solar y general de cualquier radiación. Irradiancia W/m^2 es la tasa de energía radiante incidente en una superficie por unidad de área. El símbolo “G” se usa comúnmente para irradiancia, y los subíndices “ G_o ”, “ G_b ” y “ G_d ” se usan para irradiancia extraterrestre, directa y difusa, respectivamente.

Está muy claro que la radiación es un fenómeno dependiente del tiempo, no estático. Es la energía que cae instantáneamente a la superficie (Enelgreenpower, 2021).

1.2.1.5 Instrumentos de medición de la radiación

Se usan los radiómetros solares, como el piranómetro o solarímetro y el pirheliómetro, para medir la cantidad de radiación solar. Dependiendo de sus propiedades, se pueden utilizar para medir la radiación solar global directa (“de los rayos del sol”) y difusa (“del brillo solar”) (Quinteros, 2008). Ver Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Instrumentos meteorológicos de medida de radiación

Instrumentos meteorológicos de medida de la radiación	
Tipo de instrumento	Parámetro de medida
Piranómetro	Radiación directa, difusa, global
Piranómetro espectral	Radiación global en intervalos espectrales de banda ancha
Pirheliómetro absoluto	Radiación directa (usado como patrón nacional)
Pirheliómetro de incidencia normal	Radiación directa (usado como patrón secundario)
Pirheliómetro (con filtros)	Radiación directa en bandas espectrales anchas
Actinógrafo	Radiación global
Heliógrafo	Brillo solar

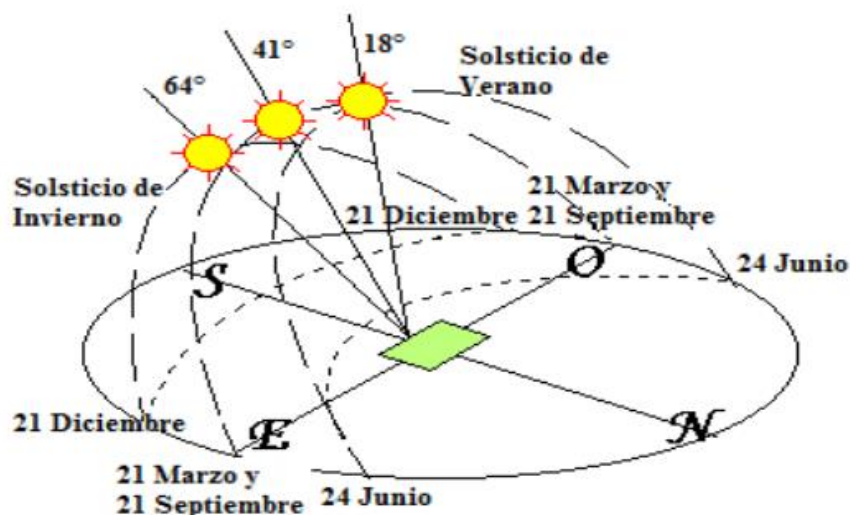
1.2.1.6 La relación Tierra - Sol

Más importante que la cantidad precisa de energía recibida en una zona y un periodo de tiempo determinados es la intensidad con la que llega a la superficie de la tierra, o más concretamente, la concentración del flujo de energía en mayor o menor grado. Esta intensidad es el factor que más influye en la capacidad del receptor de radiación del cuerpo para elevar su temperatura. La inclinación con la que las ondas radiantes (rayos solares) golpean la superficie calentada también determina la intensidad de la energía térmica recibida.

Cuanto más se inclina el rayo hacia la superficie, más débil es la intensidad en cada uno de sus puntos, porque la energía total transportada por el rayo se distribuye en un área más amplia.

Debido a la inclinación del eje de rotación de la tierra con respecto al plano en el que la tierra se mueve alrededor del Sol, los rayos del sol inciden en la superficie de la Tierra en diferentes ángulos según la estación. En invierno lo hace formando un pequeño ángulo con respecto a la horizontal, al contrario que en verano. En verano en horas centrales del día llegan a alcanzar la vertical y en zonas cercanas al ecuador (De Juana, 2001). Ver Figura 1.5.

Figura 1.5: Variación de la posición solar según la estación del año



Dada la energía incidente durante un período dado en un plano horizontal dado, digamos durante una hora o dos, puede ser mucho mayor en el período de tiempo centrales del día debido a la alta perpendicularidad de los rayos del sol. que el tiempo justo después de la salida del sol o antes de la puesta del sol.

Para poder utilizar esta energía de manera óptima, necesitamos conocer con precisión algunos parámetros muy importantes. Por ejemplo, puntos geográficos, horas de sol, trayectoria aparente del sol en relación con puntos geográficos, gráficos solares, contenido de energía, etc. La energía recibida por unidad de área y tiempo, energía recibida a lo largo del día, mes y año, y factores de microclima.

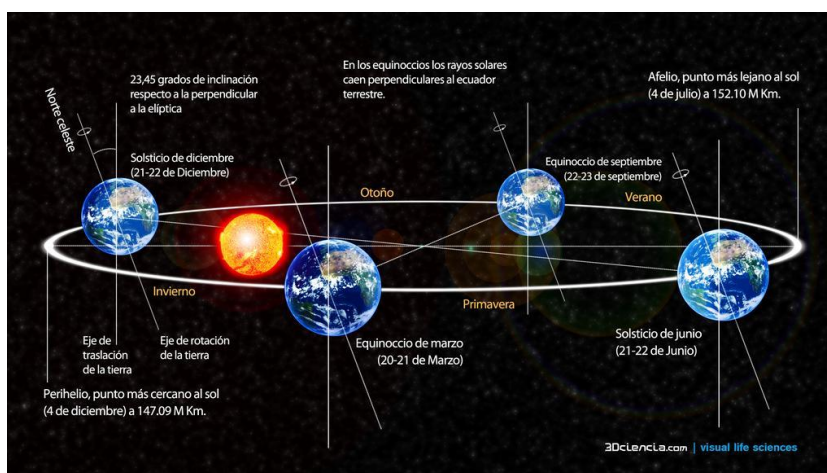
La literatura solar contiene varios sistemas, métodos, deducciones y ecuaciones para establecer la relación astronómica entre tierra-sol y para calcular la posición del sol en un momento dado.

1.2.1.6.1 Órbita tierra-sol

Nuestro planeta se mueve anualmente alrededor del Sol en una órbita elíptica, por lo que presenta un plano inclinado unos $23,5^\circ$ con respecto al plano ecuatorial.

Esta inclinación provoca variaciones en la altura del sol sobre el horizonte durante el mismo tiempo, originando las estaciones del año y complicando el cálculo de la posición del sol en una fecha determinada. Ver Figura 1.6.

Figura 1.6: Órbita de la tierra alrededor del sol, con su eje N-S inclinado un ángulo de 23.5°



“La posición angular del sol, al medio día solar, con respecto al plano del Ecuador (norte positivo) se llama declinación solar, δ , y se puede ver en la figura 1.6. La declinación solar varía con el día del año entre los límites siguientes: $-23.5^\circ < \delta < 23.5^\circ$ ”.

“La declinación solar es cero el día que comienza la primavera y el día que comienza el otoño (equinoccios) y la declinación es máxima en el solsticio de verano (23.5°)” (Cooper, 1969).

Beneficios de la energía solar térmica

- Energía respetuosa con el medio ambiente: Energía limpia y respetuosa con el medio ambiente obtenida de la naturaleza.
- Energía Inagotable: Puede durar millones de años y no emite sustancias nocivas para la salud o que contribuyan al efecto invernadero.
- Ahorro económico: se reduce el consumo de otros combustibles en más de un 50%.
- Subvenciones: Las comunidades autónomas disponen de subvenciones para instalar placas solares y facilitar la transición energética.
- Inversión: debe considerarse como una inversión ya que el dinero de los costos se recuperará en el mediano plazo
- Autosuficiencia energética: aún no es perfecta, pero podría lograrse en unos pocos años, ya que depende de las horas de sol y no de la disponibilidad de recursos del mercado.
- Precio fijo: sin fluctuaciones de precios que sugieran consumo de gas o electricidad

1.2.2 Colectores solares

Un componente esencial de un sistema de energía solar es el colector o panel solar. Un tipo especial de intercambiador de calor conocido como colector de energía solar transforma la energía de la radiación solar en energía interna y transfiere esa energía a un fluido que circula por el colector, a menudo agua, aceite o aire. El flujo de energía radiante que capta finalmente el colector procede de la porción visible del espectro solar (longitudes de onda entre 0,29 y 2,5 μm), y varía en función de la hora del día (Pacheco, 2006).

La correcta captación de la luz solar genera tanto calor como electricidad. Tanto la electricidad como el calor se producen utilizando lo que se conoce como paneles y colectores fotovoltaicos, respectivamente.

Aunque pueda parecer nueva, esta tecnología existe desde hace mucho tiempo. Dado que los hidrocarburos se comercializaron en su momento y hasta hace poco como un recurso inagotable y generador de riqueza, es posible que su falta de exploración y desarrollo fuera un error basado únicamente en consideraciones económicas. Sea cual sea la causa, es obvio que esta tecnología descubierta hace mucho tiempo nos permitirá obtener una energía limpia e inagotable y fundamentalmente respetuosa con nuestro medio ambiente, es lo que impulsa tanto nuestro presente como nuestro futuro (Bustos, 2020).

1.2.3 Criterios de clasificación de colectores

Hay varias formas de clasificar los colectores en los sistemas solares térmicos: por el tipo de colector solar utilizado, por la temperatura de operación que puede alcanzar el colector, o por el uso final de la energía térmica obtenida. Cuando se trata de aplicaciones de colectores, hay tres sistemas térmicos más desarrollados.

- “Generación termosolar de potencia”.
- “Calor solar para procesos industriales”.
- “Calentamiento de agua y acondicionamiento de espacios”.

Las dos categorías que han alcanzado un mayor grado de madurez entre estas tres han sido el calentamiento solar de agua y la refrigeración de espacios, ambas con una importante aplicación mundial. El calor solar es la menos estudiada de estas categorías para procesos industriales. Algunas tecnologías solares utilizadas para generar calor de proceso son similares a las utilizadas para hervir agua, sin embargo para generalizar este tipo de aplicación para temperaturas superiores a 120 °C se requiere trabajar en colectores. Además, existen sistemas de cogeneración que producen simultáneamente calor y electricidad para procesos industriales.

El índice de los colectores de “concentración (C)” se clasifican, como la razón que hay entre “el área de interceptación o entrada (A_{ent})” y el “área de absorción o salida (A_{sal})” para un colector y es una propiedad intrínseca de cada uno de ellos. Se puede definir como:

$$C = \frac{A_{ent}}{A_{sal}} = \frac{\text{Área de apertura o entrada}}{\text{Área de absorción o salida}} \quad (1)$$

Cuanto mayor sea el factor de concentración solar del colector, mayor será la temperatura alcanzable, pero al mismo tiempo más complejo será rastrear el movimiento aparente del Sol. Por supuesto, esto encarece el sistema. Por lo tanto, es importante relacionar cada aplicación con el colector de tipo correcto.

- Sin concentración ($C=1$)

En este grupo incluye el Colector de Placa Plana (FPC), el Colector de Tubo al vacío (ETC) y algunos Colectores Cilindro Parabólicos Compuestos (CPC).

- Concentración ($C > 1$)

“Dentro de este grupo se encuentran: colectores cilíndricos parabólicos (PTC), colector parabólico compuesto (CPC), reflector de Fresnel lineal (LFR), reflector de disco parabólico (PDR) y colector de campo de heliostatos (HFC)” (Echevarría, 2011).

Los siguientes tipos de colectores están actualmente en el mercado, agrupados en la Tabla 1.4 según el sistema de seguimiento utilizado.:

Tabla 1.4 Clasificación de Colectores Solares y sus ratios de concentración

Seguimiento	Tipo de colector	Tipo de absorbente	Ratio de concentración	Rango de temp.(°C)
Estacionario	Plano (FPC)	Plano	1	30
	Evacuado (ETC)	Plano	1	50-200
Un Eje	Parabólico Compuesto (CPC)	Tubular	1-5	70-240
		Tubular	5-15	70-290
	Reflectores Fresnel (LFR)	Tubular	10-40	60-25
	Cilindro Parabólico (PTC)	Tubular	15-45	70-290
	Cilíndrico (CTC)	Tubular	10-50	70-290
En Dos Ejes	Disco Parabólico (PDR)	Focal	100-1000	100-500
	Helióstato (HFC)	Focal	100-1500	150-2000
	Horno Solar	Focal	1500-5000	600-300

1.2.3 Colectores sin concentración

1.2.3.1 Colector de placa plana (Flat plate collector) (FPC)

Es el modelo más popular comercialmente y más utilizado en la mayoría de los sistemas solares térmicos. Tiene una temperatura de funcionamiento de 50-70°C y es adecuado para la mayoría de las aplicaciones. Se utilizan para calentamiento de agua sanitaria (ACS), calefacción por suelo radiante, precalentamiento de líquido para la entrada en una caldera, etc.

Figura 1.7. Distintos componentes del colector de placa plana



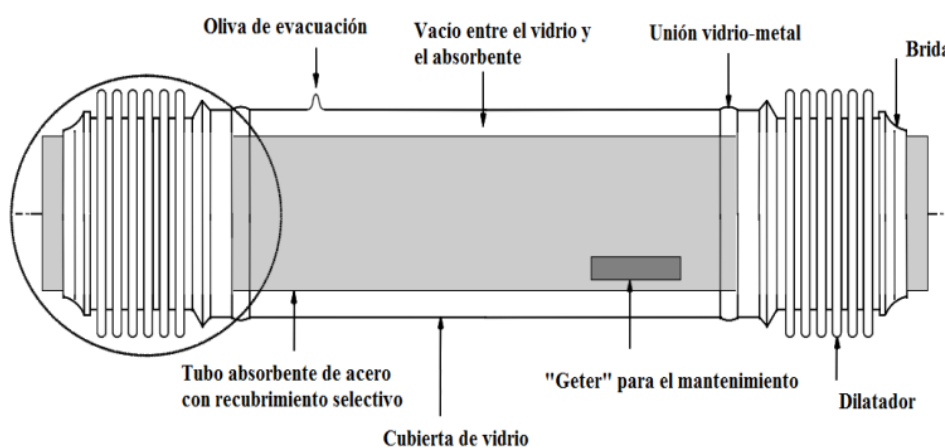
1.2.3.2 Colector de tubos al vacío (Evacuated Tube Collector) (ETC)

Las temperaturas que alcanzan los colectores de tubos de vacío son superiores a las de los colectores de placas plana. El entorno de trabajo suele alcanzar temperaturas superiores a los 100 °C. Son mucho más grandes que los colectores planos. “El vidrio exterior del colector plano se sustituye por su propio tubo, lo que provoca la formación de vacío. El tubo de transporte del líquido está encerrado en un tubo de vidrio”. El vacío impide la transferencia de calor al exterior. Esto explica por qué este tipo de instalación puede alcanzar temperaturas

tan elevadas. Además, los tubos de vacío se utilizan en concentradores como el cilindro parabólico (CTP) y el concentrador parabólico compuesto (CPC) (Cisneros et al., 2021).

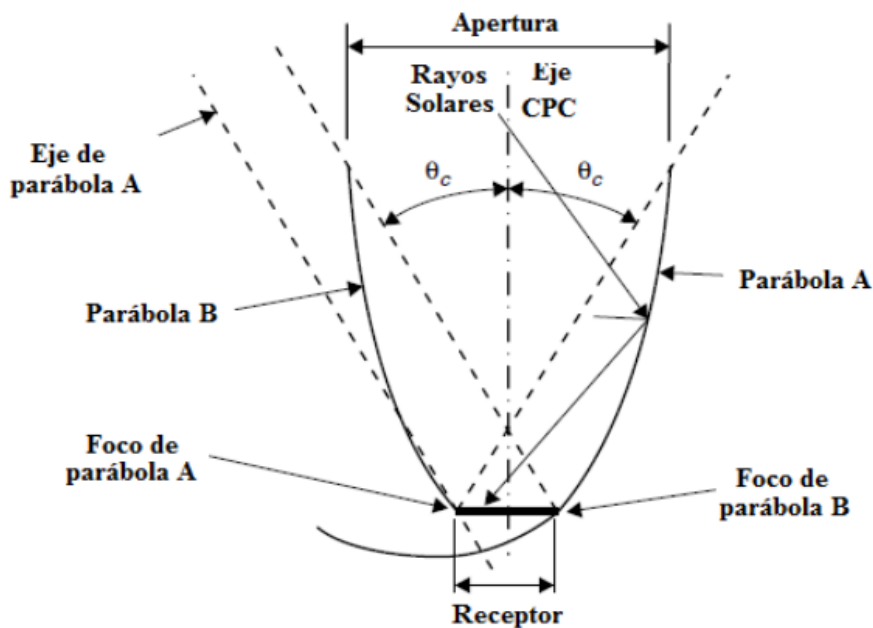
La figura 1.8 muestra un diagrama esquemático de las partes principales del tubo de absorción de vacío

Figura 1.8. Esquema de un tubo absorbente en vacío típico de un colector cilindro parabólico



1.2.3.3 Colectores parabólicos compuestos (CPC)

Estos colectores tienen la capacidad de reflejar en línea recta toda la radiación entrante que han captado. Como resultado de muchas reflexiones internas, la radiación solar que entra en el colector dentro del ángulo de aceptación ($2\theta_c$) llega a una superficie absorbente que está situada en la parte inferior del colector. La Figura 1.9 ilustra cómo se reflejan los rayos solares desde el reflector de la superficie del CPC hacia el absorbedor. Según el tipo de aplicación del colector, puede elegirse el ángulo de aceptación (Cisneros et al., 2021).

Figura 1.9. Estructura de un CPC

1.2.3.4 Colectores con concentración

Hay varias aplicaciones industriales en las que la energía debe liberarse a altas temperaturas. Para ello es necesario aumentar el potencial de la energía solar (temperaturas superiores a 100°C). Esto puede lograrse reduciendo el área donde se produce la pérdida de calor y colocando un dispositivo óptico entre la fuente de calor (el sol) y la superficie absorbente; sin embargo, esta área debe ser pequeña en comparación con el dispositivo óptico. Esto es precisamente lo que hace el colector concentrador. Esto permite que el absorbedor tenga densidades de energía que oscilan entre 1,5 y varios miles de veces la cantidad de radiación solar que entra en el sistema óptico. Cuando el sistema óptico del panel solar concentrador está correctamente acabado, puede alcanzar temperaturas de 100 a 500 °C, y puede llegar a temperaturas de 1500 a 3500 °C cuando el sistema óptico tiene un acabado impecable (Arancibia et al., 2010).

1.2.3.5 Disco parabólico (Parabolic Dish Reflector) (PDR)

Como se ve en la Figura 1.10, la radiación entrante en este colector se concentra en un punto. Por lo tanto, hay que mantener dos grados de libertad (altura y azimut) respecto al sol. “La energía térmica inherente al fluido puede convertirse en electricidad en la fuente mediante un motor-generador acoplado directamente al receptor o puede transportarse a través de tubos hasta un receptor central para diversos fines” (Echevarría, 2011).

Los discos parabólicos tienen una clara ventaja sobre otros colectores.

- Siempre están orientados hacia el sol y representa el sistema solar más eficiente.
- Suelen alcanzar concentraciones entre 600 y 2000 y también son muy eficientes en absorción de energía térmica y conversión de energía.
- Los colectores como módulos se pueden usar de forma independiente o como parte de un conjunto de colectores.

Figura 1.10 Reflector disco parabólico

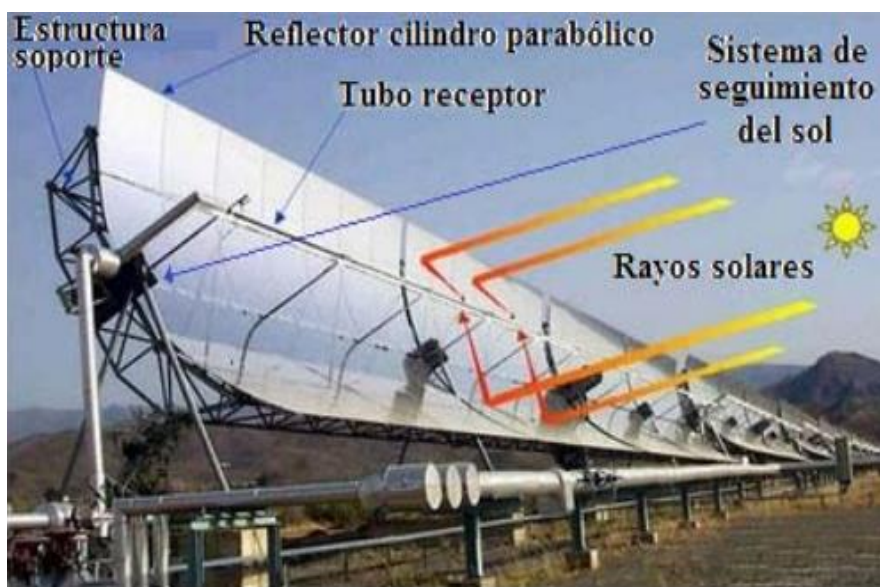


1.2.3.6 Colector cilindro parabólico (Parabolic Trough Collector) (PTC)⁹

Su uso principal es la producción de vapor en centrales térmicas, y entra dentro de la categoría de aplicaciones térmicas denominadas de media temperatura (entre 125°C y 450 °C). “Son aplicables tanto a la generación de energía eléctrica como al calentamiento de agua; esta última aplicación puede construirse con materiales más livianos y rentables, lo que reduce los costos de inversión inicial y facilita el mantenimiento solar”. (Pacheco, 2006)

Están contruidos en forma de sectores cilíndricos en los que el tubo que contiene el líquido a calentar se coloca en el centro de una línea recta. El seguimiento del sol debe ser en una sola dirección.

Figura 1.11: Colector cilindro parabólico



1.2.4 Radiación solar

La energía emitida por el sol se propaga en forma de ondas electromagnéticas. La velocidad de propagación en el vacío es la misma para todas las longitudes de onda. El tiempo que tarda la luz del sol en llegar a la tierra es de unos 8,3 minutos, ya que $C = 300000 \text{ km/s}$. La distancia entre la tierra y el sol es de 150 millones de km.

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por su longitud de onda λ y frecuencia ν lo que se relaciona por la fórmula:

$$C = \lambda \nu \quad (2)$$

Las frecuencias son ondas que van desde $\nu = 10^{25}$ Hz (radiación cósmica) hasta $\nu = 10^4$ Hz (ondas de radiofrecuencia), dependiendo de la fuente emisora¹⁰.

1.2.5 Posición del sol

La posición del sol en la esfera celeste se puede determinar mediante coordenadas ecuatoriales u horizontales (López, 2023).

1.2.5.1 Coordenadas ecuatoriales

Son la declinación y el ángulo horario.

Declinación del Sol δ

Es el ángulo en el que se forma la línea sol-tierra en los equinoccios de primavera y otoño en proyección sobre el plano ecuatorial, y tiene un valor de cero, siendo $23,5^0$ en el solsticio de verano y $-23,5^0$ en el solsticio de invierno. El valor para cada día del año viene dado por la fórmula:

$$\delta = -23,45 \cos\left(\frac{360 n}{365}\right) \quad (3)$$

El ángulo horario ω

Este es el ángulo del diedro formado por el plano meridiano del sol y el plano meridiano del lugar en medio del día solar. Es decir, cuando el sol pasa por el meridiano del lugar, el ángulo horario es cero. Dado que la tierra gira en esta parte en 24 horas, cada hora corresponde a un ángulo horario de 15^0 .

Este ángulo se cuantifica mediante la siguiente fórmula:

$$h = \left(12 - \frac{H}{15}\right) \quad (4)$$

Donde H: es el ángulo a la hora de salida del sol

$$H = \arccos[-\tan(L)\tan(\delta)] \quad (5)$$

La radiación global lo componen la radiación directa y la difusa.

La radiación difusa proviene del disco solar y es parcialmente atenuada por la atmósfera.

La radiación directa es la radiación que llega a un plano horizontal desde todas las direcciones.

1.2.6 Mecanismos de transporte de calor

La conversión de energía a través del calor, ya sea en colectores u otras superficies, ocurre por mecanismos de conducción, convección y radiación.

En el centro del colector se da el proceso de radiación debido a que el calor fluye de un cuerpo a otro a inferior temperatura, y ambos están separados en el espacio, aunque exista el vacío entre ellos (Yunus, 2007).

1.2.7 Componentes principales de un colector solar cilíndrico parabólico CCP

1.2.7.1 El reflector cilíndrico parabólico.

Su función es reflejar la radiación solar directa que incide sobre su superficie y enfocarla en un tubo de absorción.

Es un espejo que se curva en una de sus dimensiones en forma de parábola y enfoca toda la radiación solar a través de su apertura hacia su línea focal.

1.2.7.2 El tubo Absorbente

El tubo absorbente es uno de los elementos básicos de todos los CCP, ya que el rendimiento general del colector depende en gran medida de él. El tubo absorbente de un CCP consta de uno o más tubos, a menudo son dos tubos concéntricos.

El tubo interior el que se calienta por el circula el líquido y es de metal y el tubo exterior es de vidrio. El tubo de metal tiene un revestimiento selectivo que proporciona una capacidad de absorción superior al 90 % y baja emisividad de menos del 30 % en el espectro infrarrojo, lo que da como resultado un alto rendimiento térmico El tubo de vidrio que rodea el tubo de metal interior tiene dos funciones, reduce la pérdida de calor por convección en el tubo metálico y protege el recubrimiento selectivo de la intemperie.

Los líquidos más utilizados para este tipo de colectores son el aceite y el agua.

1.2.7.3 La estructura metálica

La función de la estructura metálica del colector es dar rigidez al conjunto de elementos (reflector y colector).

1.2.7.4 El fluido de trabajo que circula por el tubo interior

1.2.7.5 Sistema de seguimiento del sol

El sistema de seguimiento más común consiste en un dispositivo que hace girar un reflector concentrador cilíndrico parabólico alrededor de un eje.

1.2.8 Consideraciones geométricas sobre el colector cilíndrico parabólico

1.2.8.1 Ecuación de la parábola

Una parábola es el lugar geométrico de los puntos equidistantes de una recta llamada directriz y un punto fijo llamado punto focal. La intersección de la parábola y su eje de simetría define el vértice, y este vértice se elige como el origen.

Su ecuación es

$$y = \frac{x^2}{4f} \quad (6)$$

Donde f: es la distancia focal

La ecuación del centro de masa de la parábola¹⁴.

$$CM = 2/5 Y_{cm} \quad (7)$$

Donde Y_{cm} : es la altura del CM en la coordenada Y.

1.2.8.2 Dimensiones

El área abierta del concentrador es el área proyectada sobre el plano perpendicular al plano de simetría, y para el CCP las dimensiones son un rectángulo con ancho y largo de la superficie reflectante.

Para obtener las dimensiones de la imagen solar reflejada en el plano focal, suponemos que el concentrador se refleja en un receptor plano perpendicular al eje del concentrador de diámetro “d”. Y esta dada por

$$ab = 2\rho (\text{tg } 16) \quad (8)$$

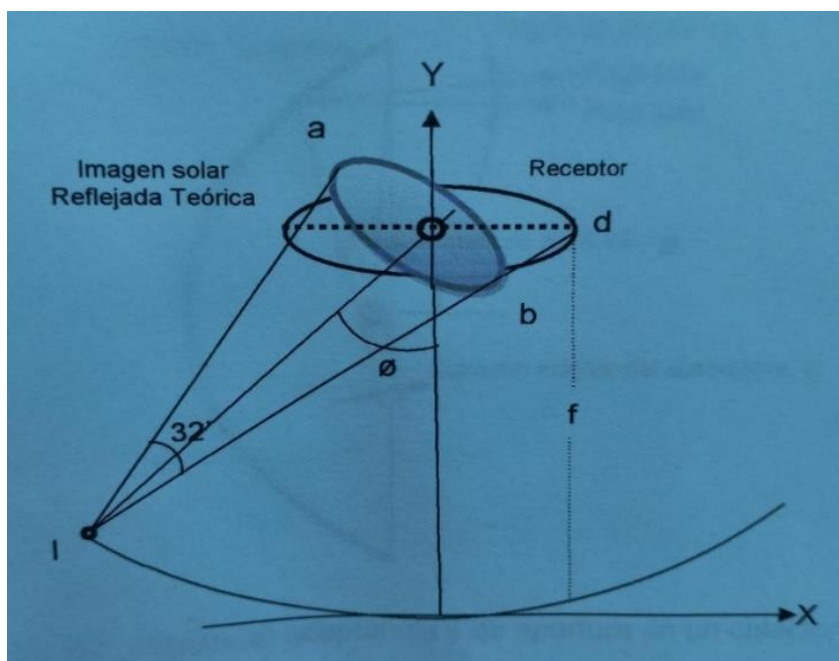
$$d = \frac{2\rho (\text{tg } 16)}{\cos \varnothing} \quad (9)$$

Donde:

$$\varnothing = 2 \text{ arc tg}(d/4f) \quad (10)$$

\varnothing : ángulo de apertura

Figura 1.12: Imagen reflejada teórica del sol para un CCP.



En el punto I se tiene que

$$X_1 = \rho \operatorname{sen} \phi \quad (11)$$

$$Y_1 = f - \rho \cos \phi \quad (12)$$

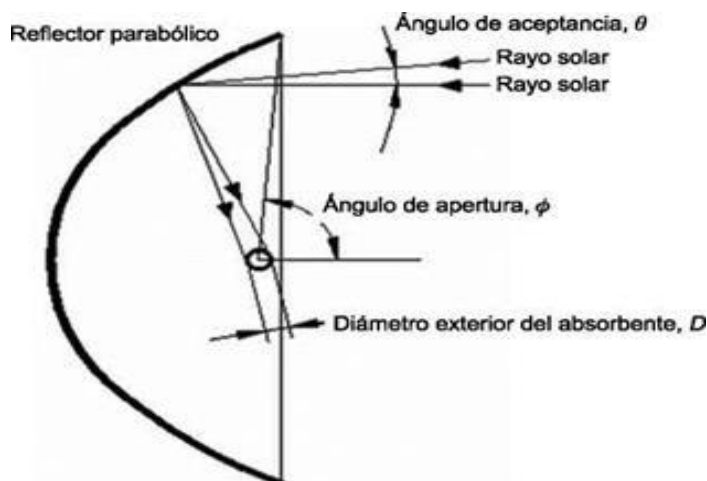
$$\rho = \frac{2f}{1 + \cos \phi} \quad (13)$$

ρ : Halla el tamaño de la imagen teórica reflejada sobre el receptor para f_{\max} .

1.2.8.3 Angulo de aceptancia

El ángulo de aceptancia θ es el ángulo máximo que pueden formar dos rayos en el plano transversal de la apertura del colector para que se crucen después de ser reflejados por el tubo absorbente⁹.

Figura 1.13: Angulo de aceptancia y de apertura en un colector



1.2.8.4 Balance de energía de un colector

El principio de conservación de un colector solar se expresa en la ecuación en función de la energía solar efectiva (Q_{ef}), la energía térmica utilizada (Q_u) y las pérdidas (Q_n).

$$Q_{ef} = Q_u + Q_n \quad (14)$$

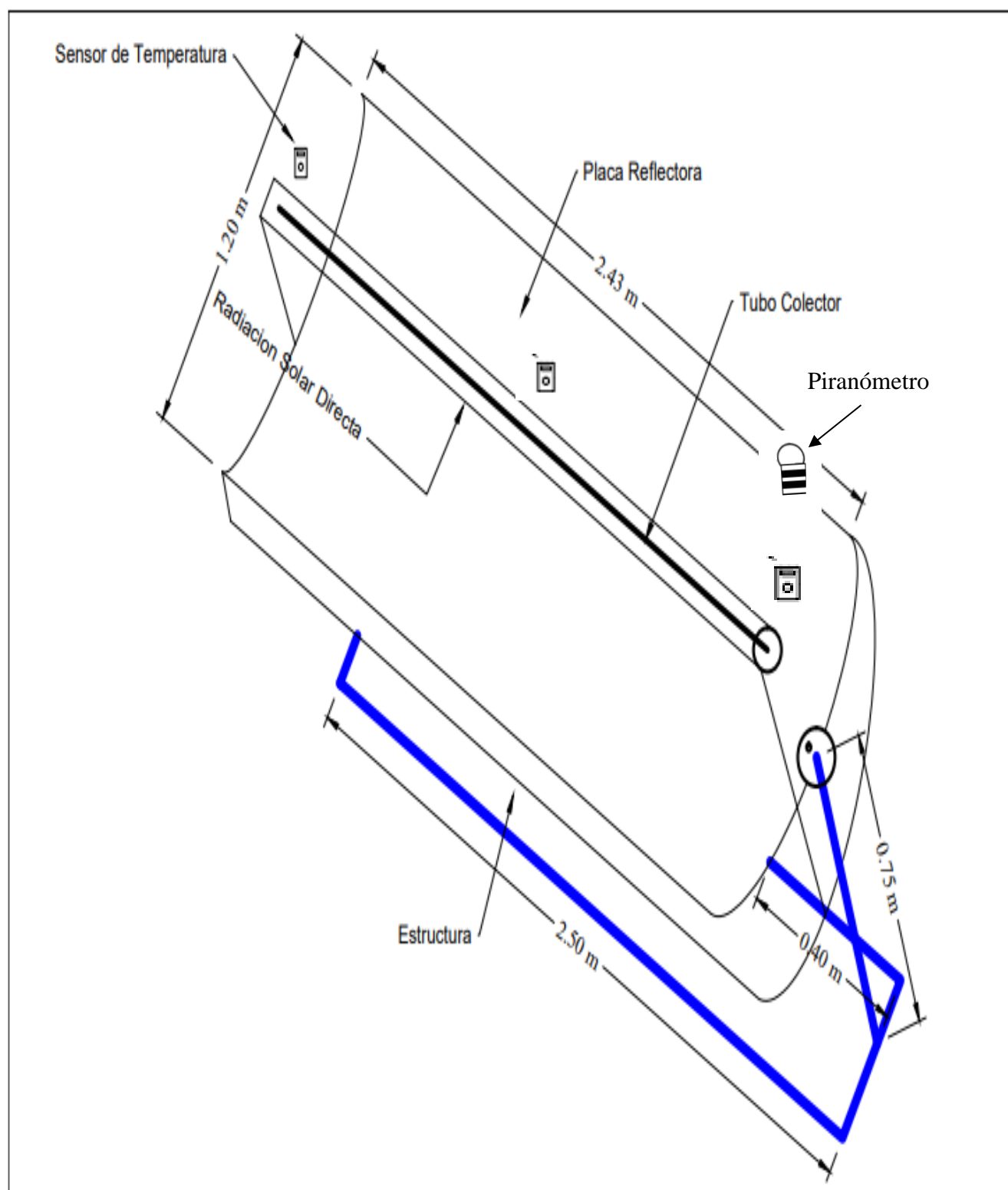
Hipótesis

Sera posible que con el diseño y construcción de un colector cilíndrico parabólico llegar a calentar agua usando energía solar.

1.2.8.5 Construcción del colector cilíndrico parabólico

Equipo del CCP se construyó teniendo en cuenta la figura 1.14.

Figura 1.14: Diseño del colector Cilíndrico Parabólico



El concentrador consta de una plancha de acero galvanizado de (2,20 m x 1,20m) de 1,16 mm de espesor que se anexo mediante remaches a la estructura metálica.

Se encontró que el centro de masa de la parábola está ubicado a 8.0.cm sobre el origen del sistema de coordenadas por conveniencia se hizo coincidir el Centro de Masa con el origen de coordenadas de la parábola.

La estructura se hizo de 07 varillas de fierro de 6 m, dándole la forma cilíndrica parabólica.

Los soportes se hicieron de 02 tubos cuadrado de 4 m, para lo que se construyeron dos parantes con una base rectangular, para que tenga mayor firmeza. Toda la estructura se pintó con pintura anticorrosiva color negro, para evitar la corrosión.

El tubo receptor está constituido por un tubo de cobre de 35 m (6mm de diámetro y 1mm de espesor) el que se pintó color negro para que absorba más radiación.

Capítulo II.

2. Métodos y Materiales

2.1. Tipo de Investigación

Aplicada.

2.2. Método de Investigación

El método utilizado es un método experimental que tiene como objeto estudiar posibles relaciones causa-efecto.

En el presente estudio, la causa y el efecto están relacionados con la radiación solar, el trabajo del colector y la temperatura final en el CCP. Calculamos la eficiencia del CCP con un tubo absovedor de Cu, y poder validar la hipótesis del estudio actual.

Para construir el colector cilíndrico parabólico se tuvo en cuenta que propiedades tenían cada material y los costos de los mismos.

El ángulo de declinación respecto a la horizontal para la evaluación que se hizo con agua fue de $2,6^{\circ}$.

El Pirómetro y el sensor de temperatura se ubicó en forma perpendicular al eje de la parábola, en la parte superior derecha y la izquierda del colector cilíndrico parabólico (figura 1.14)

2.3. Diseño de Contrastación

El diseño del estudio de investigación fue un “diseño experimental” de clase cuasi-experimental”.

El diseño que se utilizó para el estudio de investigación fue:

		<u>1ra. Obs.</u> (diarias)	<u>2da Obs.</u>	<u>3ra Obs.....</u>	<u>15 Obs</u>
G_{Cu}	O_1	O_1	O_2	$O_3 \dots\dots\dots$	O_{15}
G_{CCP}	O_2	O_1	O_2	$O_3 \dots\dots\dots$	O_{15}

Donde:

G: Grupo de sujetos (colector de Cobre y CCP)

X: Tratamiento o estímulo o condición experimental (presencia de la radiación solar como variable independiente).

O: Una medición de los sujetos de grupo (medición de las observaciones diarias).

2.4. Población, Muestra y Muestreo

La población y la muestra es el CCP.

El tamaño del muestreo estuvo determinado por el número de observaciones diarias, (unidades de análisis diarias). Las tablas se encuentran en el Apéndice (anexo 3).

2.5. Técnicas, Instrumentos, Equipos y Materiales de Recolección de Datos

En el presente trabajo se construyó y evaluó un CCP hecho de 01 Plancha de acero inoxidable de (2,20 m x 1,20m) de 1,16 mm de espesor, que presenta transmitancia de 0,983 y una reflectancia de 0,8, la parte absorbente esta hecho de una tubería de cobre de 35 m con un diámetro promedio de 06 mm y 01 mm de espesor que tiene una conductividad térmica de 385J/K .y es un buen conductor del calor el mismo calienta el agua por radiación solar, también se usó un Piranómetro, termómetro (03 Sensores de temperatura) y un microcontrolador Arduino.

La evaluación del colector cilíndrico parabólico se realizó en la ciudad de Lambayeque en la estación meteorológica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo que se encuentra ubicada aproximadamente a 18 msnm con latitud de $06^{\circ}42'$ y una longitud de $79^{\circ}55'$, durante 30 días entre febrero, marzo y abril

La recopilación de datos y la evaluación del período requerían dos componentes principales:

a). Llenado del agua en CCP: Para llenar el sistema de agua, abrimos la llave del tanque y dejamos que entre agua en el sistema. El agua ingresa al absorbente y circula a través del

tubo de cobre en el que se encuentran los sensores de temperatura para medir la temperatura del agua entrante y saliente.

b). Uso de registros de recolección de datos: Aquí se registraron datos de campo sobre el comportamiento del CCP para que luego pudieran ser evaluados y responder la hipótesis del presente estudio.

2.5.1. Instrumentos para recolectar datos

Se tuvo un registro de datos experimentales por medio de la tarjeta Arduino para obtener información sobre el comportamiento del CCP construido, del absorbente de cobre en la entrada y salida del agua, radiación solar, temperatura ambiente, temperatura del tanque entre otros.

El CCP funciona en todas las condiciones climáticas y determina su eficiencia y capacidad para los días.

- Soleado: Si el sol está presente todo el día.
- Combinación: Presencia y ausencia de sol (presencia de nubes durante el día).
- Nublado: Sin sol (nublado todo el día).

2.5.2. Técnica de procesamiento de datos

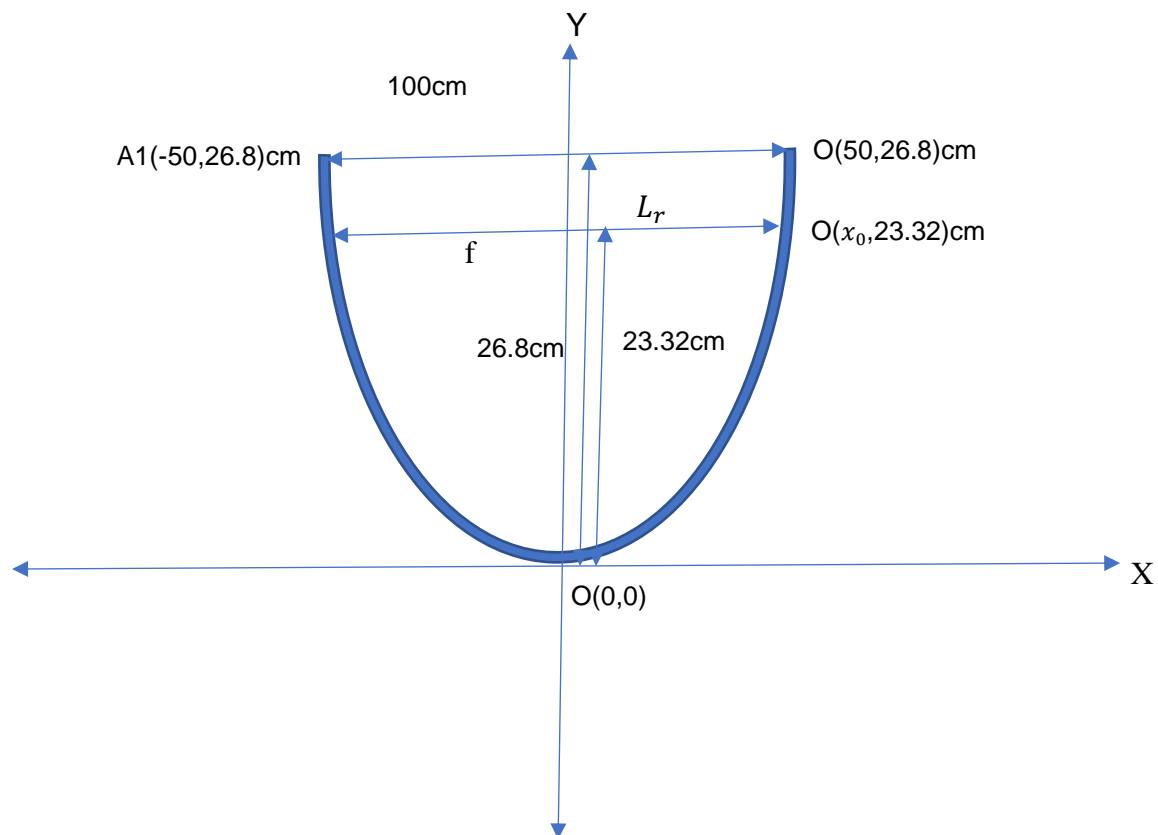
Se utilizaron métodos estadísticos para el procesamiento de datos y posterior análisis e interpretación de ellos. Se utilizó la estadística descriptiva para procesar la información de los conjuntos de datos experimentales, como la entrada de agua al absorbedor de Cu, la salida de agua caliente del absorbedor de Cu, la temperatura ambiente y la radiación solar. La información se procesó en una hoja de cálculo de Excel y se promedió para la información de días soleados y combinados (soleados y nublados).

Los gráficos de los datos promedios resultantes se hicieron en una hoja de cálculo de Excel previamente programada y diseñada para graficar. Una gráfica con triple entrada nos

2.6. Procesamiento y Análisis de Datos

Geométricamente el foco se calcula con la ecuación:

$$x^2 = 4fy$$



Si:

$$x = 50\text{cm}$$

$$y = 26.8\text{cm}$$

Entonces la distancia focal es:

$$\frac{x^2}{4y} = f$$

$$f = 23.32\text{cm}$$

Cálculo de la superficie efectiva:

$$S_e = L_r \times L_e$$

Donde:

L_r = lado recto

L_e =longitud efectiva del colector

Donde el lado recto es:

$$L_r = 2x_0$$

Y x_0 se encuentra:

$$x_0^2 = 4f^2$$

$$x_0 = 46.64cm$$

Y el lado efectivo se calcula:

$$L_e = F_m \times \tan(\theta)$$

Donde:

F_m = distancia media entre la superficie de la parábola y el receptor.

θ = ángulo de incidencia

Para un colector fijo tenemos que:

$$\cos(\theta) = \cos(\delta) \times \cos(\tau)$$

Donde:

δ = ángulo de declinación

τ = ángulo horario

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(360 \times \frac{284 + n}{365}\right)$$

Donde:

n = es el número del día

Y τ se define como:

hora	τ
06:00:00	-90
07:00:00	-75
08:00:00	-60
09:00:00	-45
10:00:00	-30
11:00:00	-15
12:00:00	0
13:00:00	15
14:00:00	30
15:00:00	45
16:00:00	60
17:00:00	75
18:00:00	90

Con estos datos:

$$n = 81$$

Tenemos:

$$\theta = 22.49$$

Y F_m se calcula:

$$F_m = F + \left(F \times \frac{L_r^2}{48 \times F^2} \right)$$

Obtenemos que:

$$F_m = 31.0933 \text{ cm}$$

Y el área efectiva es igual:

$$S_e = L_r \times F_m \times \tan(\theta)$$

$$S_e = 1200.5831 \text{ cm}^2$$

Potencia incidente:

$$W_i = S_e \times I_e$$

donde

I_e = intensidad efectiva

Y la I_e se calcula:

$$I_e = I_0 \times \cos(\theta)$$

Donde:

I_0 =intensidad solar directa

Para

$$I_0 = 1.39 \frac{cal}{min. cm^2}$$

Entonces:

$$W_i = 1541.9295 \frac{cal}{min}$$

Para el cálculo de la energía incidente:

$$E_i = W_i \times t$$

Donde:

t =tiempo

Y obtenemos:

$$E_i = 92515.7676 \text{ cal}$$

Para el cálculo de la energía útil:

$$E_u = m \times C_e \times \Delta T$$

Donde:

m =masa de agua

C_e =calor especifico del agua

ΔT =variación de temperatura

Y ΔT es:

$$\Delta T = T_f - T_0$$

Donde:

T_f =temperatura final

T_0 =temperatura inicial

Si la m es igual:

$$m = V \times \rho$$

Obtenemos que:

$$m = 686.5392 \text{ gr}$$

Reemplazando valores obtenemos que:

$$E_u = 14582.0282 \text{ cal}$$

Y la eficiencia del colector se obtiene:

$$\eta = \frac{E_u}{E_i} \times 100\%$$

Donde se obtiene:

$$\eta = 15.7617 \%$$

Capítulo III.

3.1 Resultados

En la tabla N° 3.1, se muestran los resultados del colector

Tabla 3.1: Resultado de la evaluacion del concentrador. 23/03/2023		
Variable	Resultado	Unidades
Temperatura inicial Promedio del agua(T_o)	31.82	°C
Temperatura máxima alcanzada del agua(T_{max})	53.06	°C
Volumen del Tubo(V)	209.79	cm ³
Tiempo en alcanzar el agua la temperatura máxima (t)	28	min
Calor especifico del agua (C_e)	1	Cal/g°C
Radiación solar incidente promedio(Q_r)	1.39	Cal/min.cm ²
Area Transversal (A)	29160	cm ²
Rendimiento del colector(Q_v)	3.93	litros/hora
Energía útil (Q_u)	14582.0282	cal
Energía incidente (Q_i)	92515.7676	cal
Eficiencia del colector	15.7616681	%

La eficiencia del colector como vemos fue del 15.76% para un tiempo de dos horas, este valor está por debajo del valor teórico dado para este tipo de colectores. Y teniendo en cuenta el error que se cometió en la construcción de la estructura no fue posible aprovechar el área total del colector.

Para que el colector alcance una eficiencia mayor se necesita que el tiempo en alcanzar su máxima temperatura sea menor que la obtenida en la evaluación (28 min).

Se obtuvo un rendimiento de 3.93 litros de agua por hora; la temperatura máxima alcanzada del agua fue de 53.06 °C en un tiempo de 28 minutos dada las condiciones ya mencionadas.

Figura 3.1: Variación de la Radiación solar, la temperatura y tiempo

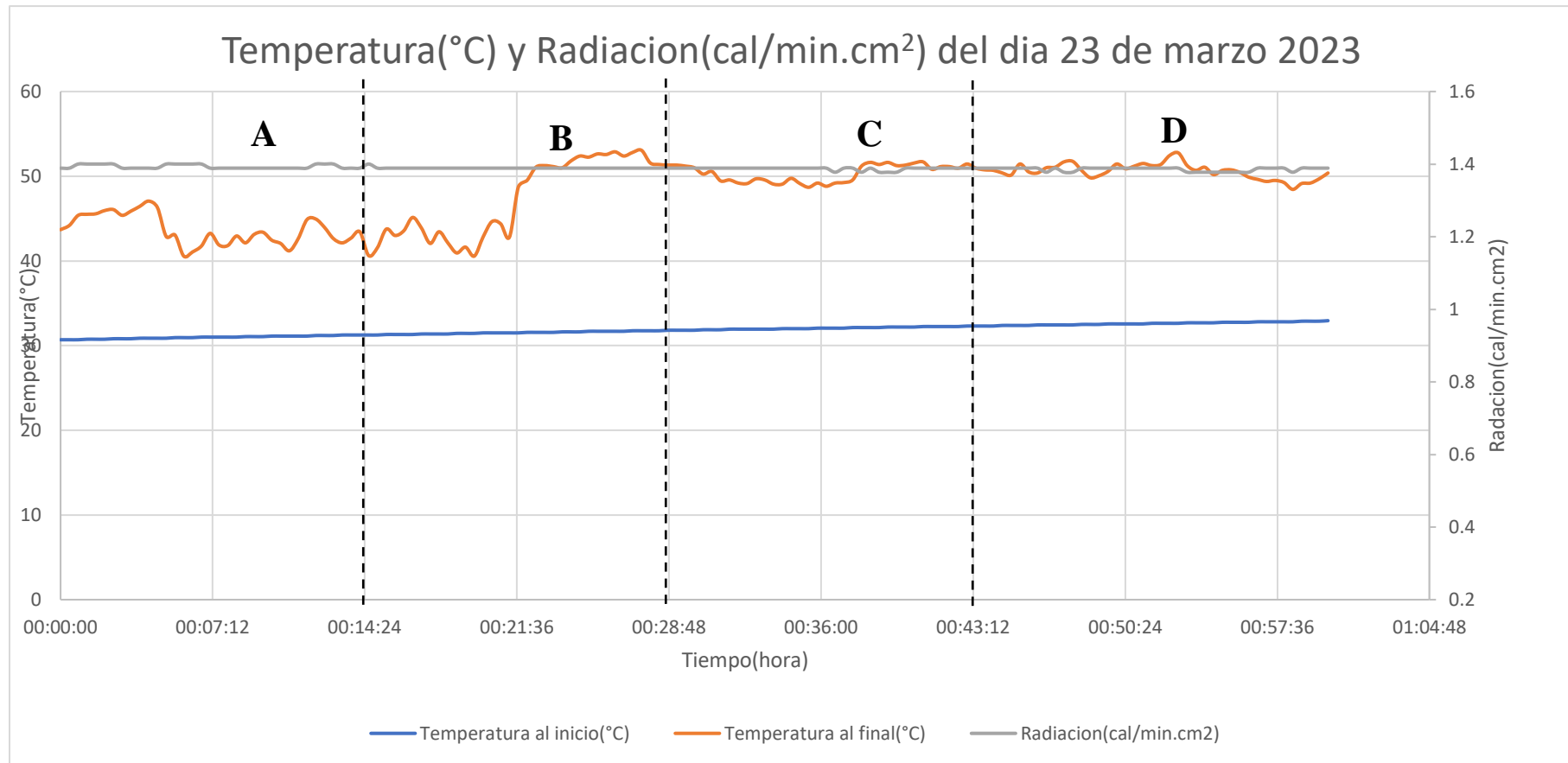
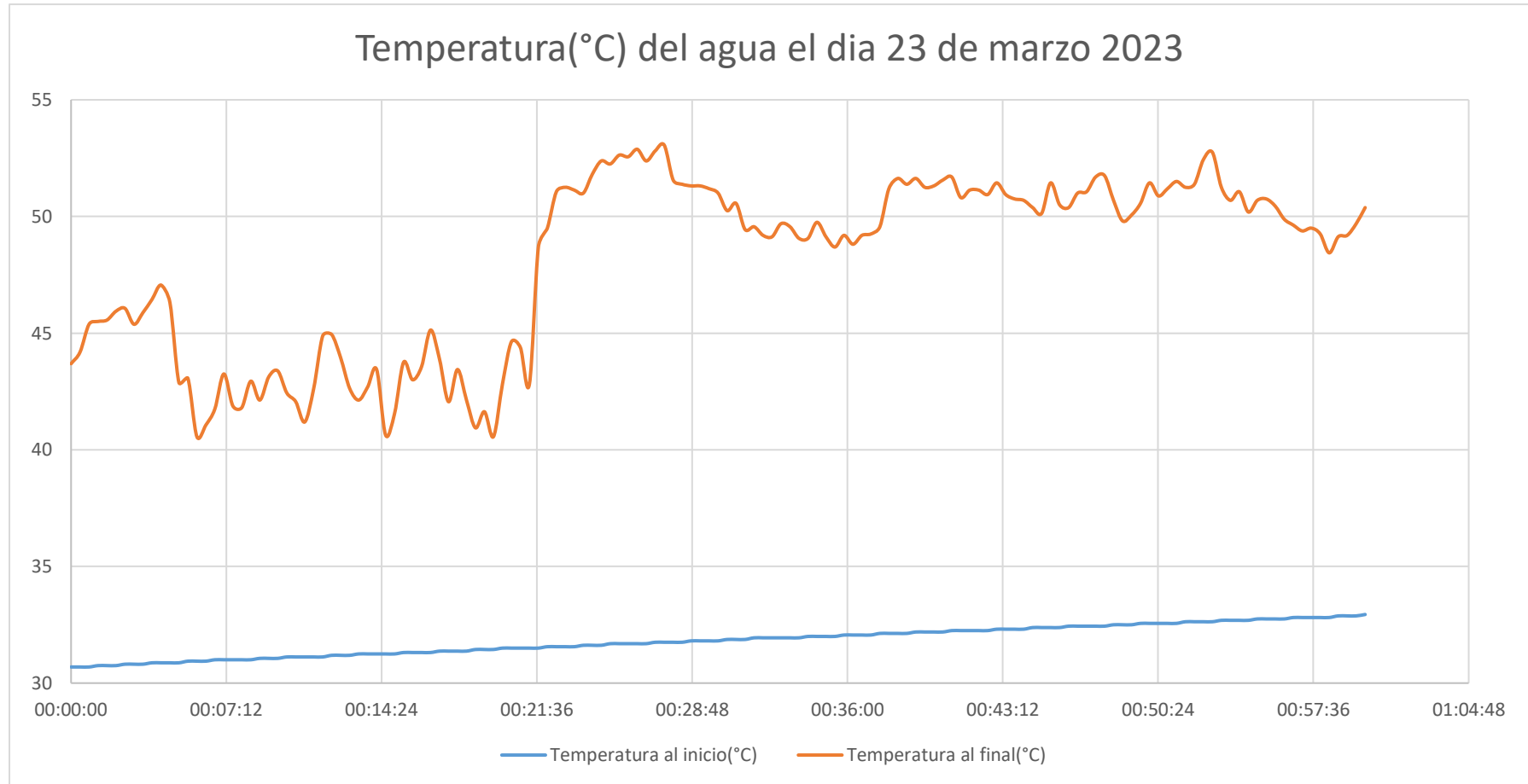


Figura 3.2: Variación de la temperatura y el tiempo



Para explicar los resultados se ha dividido la Figura 3.1 en cuatro partes

En la parte “A” se observa que la curva de temperatura alcanza un máximo de 47.06°C en un tiempo de 4.10 minutos, debido a que la radiación solar fluctúa entre 1.38 y 1.40 cal/min.cm^2 .

En la parte “B” la radiación es constante 1.39 cal/min.cm^2 y el agua alcanza un máximo de 53.06°C en un intervalo de tiempo de 13.06 minutos. Esta temperatura se puede aplicar en usos térmicos a través de la transferencia de calor.

En la parte “C” la radiación es constante 1.38 cal/min.cm^2 , demorando el agua 14.64 minutos para alcanzar una temperatura máxima de 51.69°C

En la parte “D” la radiación es constante 1.38 cal/min.cm^2 , el agua alcanza 52.75°C , en un tiempo de 9.43 minutos. En estas condiciones el colector solar cilíndrico parabólico no llega a superar el rango de eficiencia de los colectores planos que es de (42%).

En la tabla N° 3.2, se muestran los resultados del colector

Tabla 3.2: Resultado de la evaluacion del concentrador. 14/04/2023		
Variable	Resultado	Unidades
Temperatura inicial Promedio del agua(T_o)	33.3	°C
Temperatura máxima alcanzada del agua(T_{max})	40.31	°C
Volumen del Tubo(V)	209.79	cm ³
Tiempo en alcanzar el agua la temperatura máxima (t)	90	min
Calor especifico del agua (C_e)	1	Cal/g°C
Radiación solar incidente promedio(Q_r)	0.61	Cal/min.cm ²
Area Transversal (A)	29160	cm ²
Rendimiento del colector(Q_v)	3.93	litros/hora
Energía útil (Q_u)	4812.61855	cal
Energía incidente (Q_i)	62421.8655	cal
Eficiencia del colector	7.70982814	%

En esta oportunidad el cielo estuvo nublado y se obtuvo los siguientes resultados:

La eficiencia del colector como vemos fue del 7.70% para un tiempo de dos horas, este valor está por debajo del valor teórico dado para este tipo de colectores. Y teniendo en cuenta el error que se cometió en la construcción de la estructura no fue posible aprovechar el área total del colector.

Para que el colector alcance una eficiencia mayor se necesita que el tiempo en alcanzar su máxima temperatura sea menor que la obtenida en la evaluación (90 min).

Se obtuvo un rendimiento de 3.93 litros de agua por hora; la temperatura máxima alcanzada del agua fue de 40.31 °C en un tiempo de 90 minutos dada las condiciones ya mencionadas.

Figura 3.3: Variación de la Radiación solar, la temperatura y el tiempo

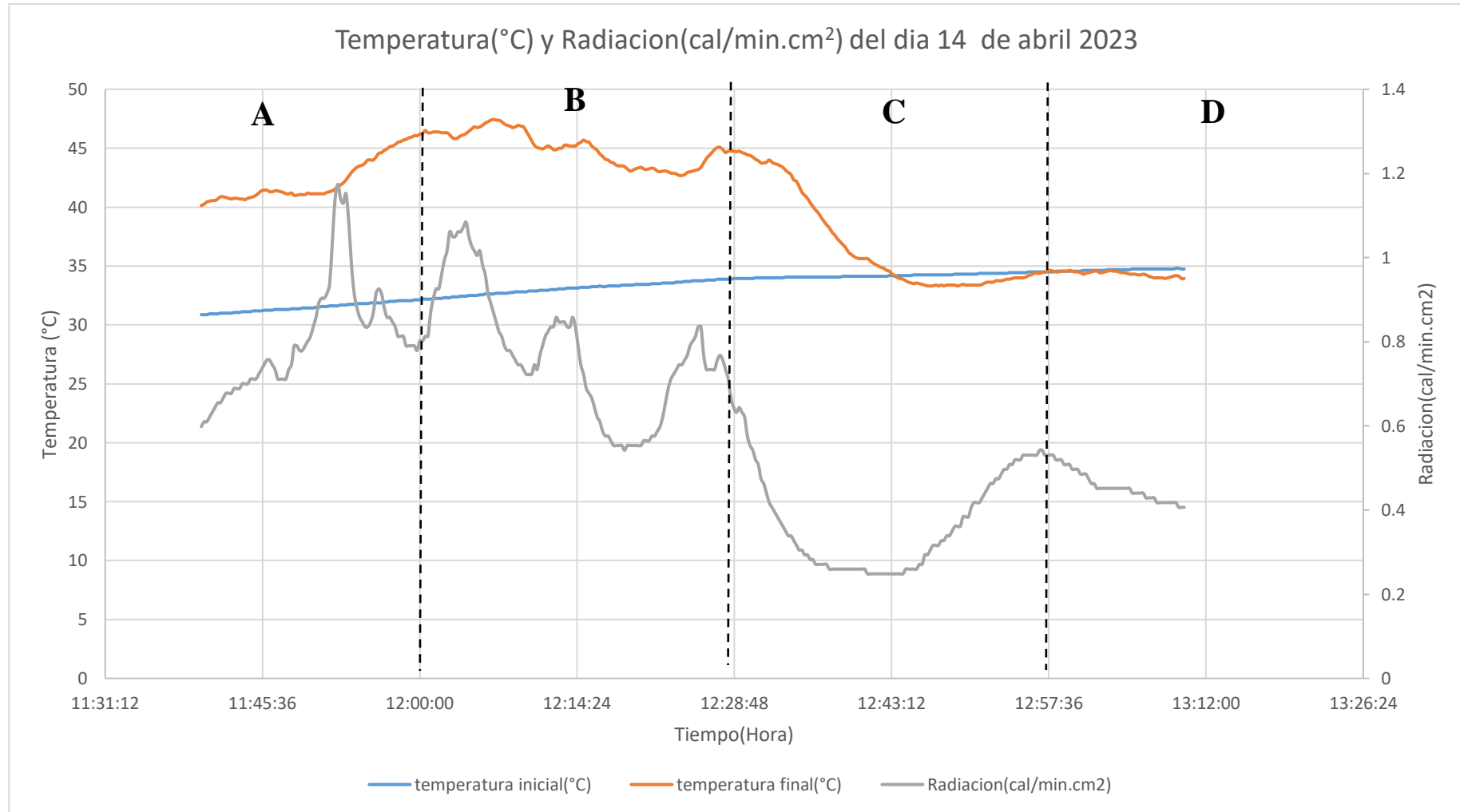
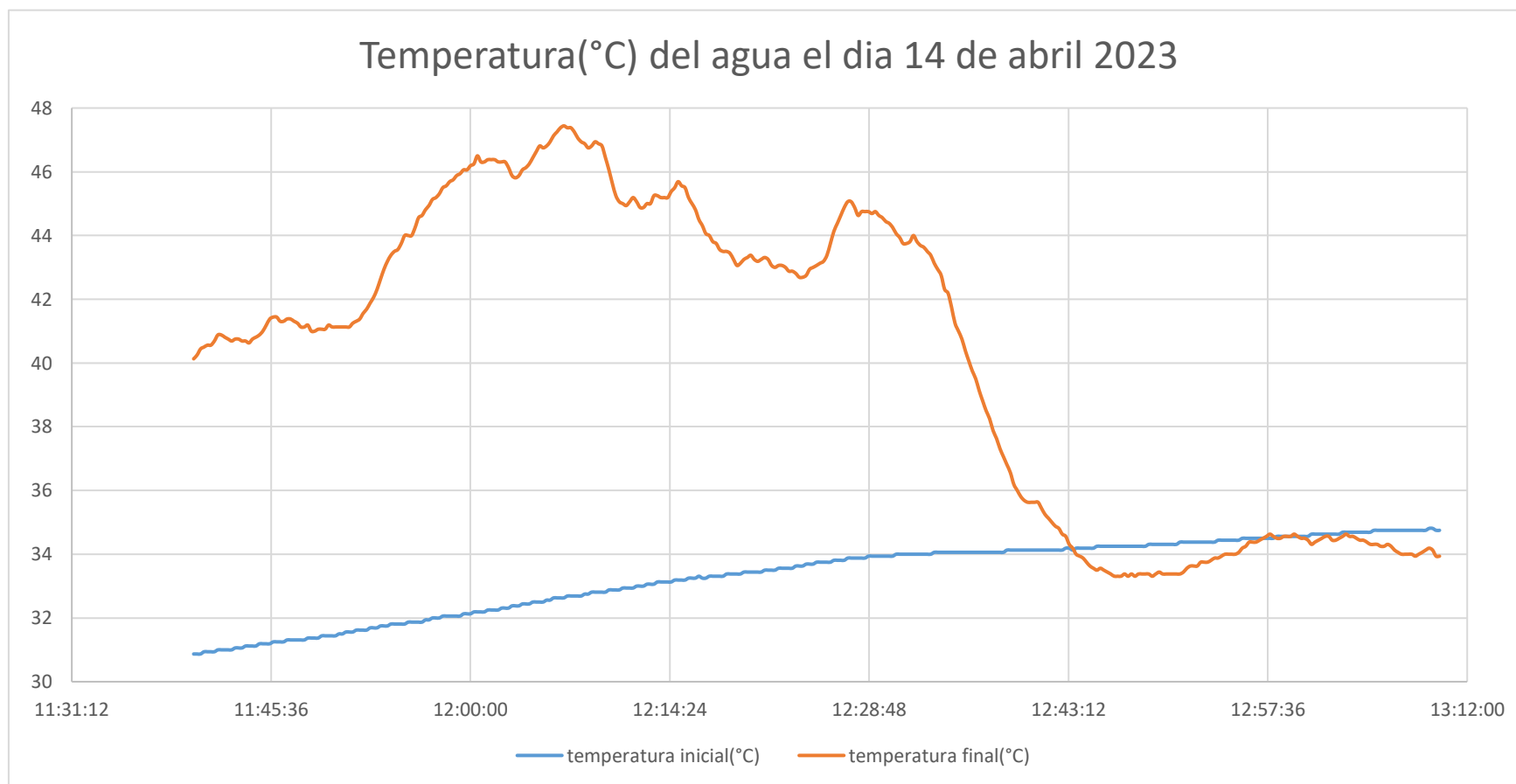


Figura 3.4: Variación de la temperatura y el tiempo



Para explicar los resultados se ha dividido la Figura 3.3 en cuatro partes

En la parte “A” se observa que la curva de temperatura alcanza un máximo de 46.06°C en un tiempo de 31.10 minutos, debido a que la radiación solar fluctúa entre 0.59 y $0.77 \text{ cal/min.cm}^2$

En la parte “B” la radiación fluctúa entre 0.80 y $0.71 \text{ cal/min.cm}^2$ y el agua alcanza un máximo de 47.38°C en un intervalo de tiempo de 7.0 minutos. Esta temperatura se puede aplicar en usos térmicos a través de la transferencia de calor.

En la parte “C” la radiación fluctúa y decae entre 0.64 y $0.53 \text{ cal/min.cm}^2$, demorando el agua 19.82 minutos para alcanzar una temperatura mínima de 33.38°C y se recupera hasta un máximo de 34.63°C en un tiempo de 9.85 minutos.

En la parte “D” la radiación fluctúa y decae desde 0.53 a $0.40 \text{ cal/min.cm}^2$, el agua alcanza 34.5°C , en un tiempo de 4.4 minutos. En estas condiciones el colector solar cilíndrico parabólico su eficiencia está muy por debajo de los colectores planos que es de (42%).

En la tabla N^o 3.3, se muestran los resultados del colector

Tabla 3.3: Resultado de la evaluacion del concentrador. 28/04/2023		
Variable	Resultado	Unidades
Temperatura inicial Promedio del agua (T_o)	33.7	°C
Temperatura máxima alcanzada del agua (T_{max})	53.15	°C
Volumen del Tubo(V)	209.79	cm ³
Tiempo en alcanzar el agua la temperatura máxima (t)	60	min
Calor especifico del agua (C_e)	1	Cal/g°C
Radiación solar incidente promedio(Q_r)	1.24	Cal/min.cm ²
Area Transversal (A)	29160	cm ²
Rendimiento del colector(Q_v)	4.0427902	litros/hora
Energía útil (Q_u)	13353.1285	cal
Energía incidente (Q_i)	79608.8902	cal
Eficiencia del colector	16.7734137	%

La eficiencia del colector como vemos fue del 16.77% para un tiempo de dos horas, este valor está por debajo del valor teórico dado para este tipo de colectores. Y teniendo en cuenta el error que se cometió en la construcción de la estructura no fue posible aprovechar el área total del colector.

Para que el colector alcance una eficiencia mayor se necesita que el tiempo en alcanzar su máxima temperatura sea menor que la obtenida en la evaluación (60 min).

Se obtuvo un rendimiento de 4.04 litros de agua por hora; la temperatura máxima alcanzada del agua fue de 53.15 °C en un tiempo de 28 minutos dada las condiciones ya mencionadas.

Figura 3.5: Variación de la Radiación solar, la temperatura y el tiempo

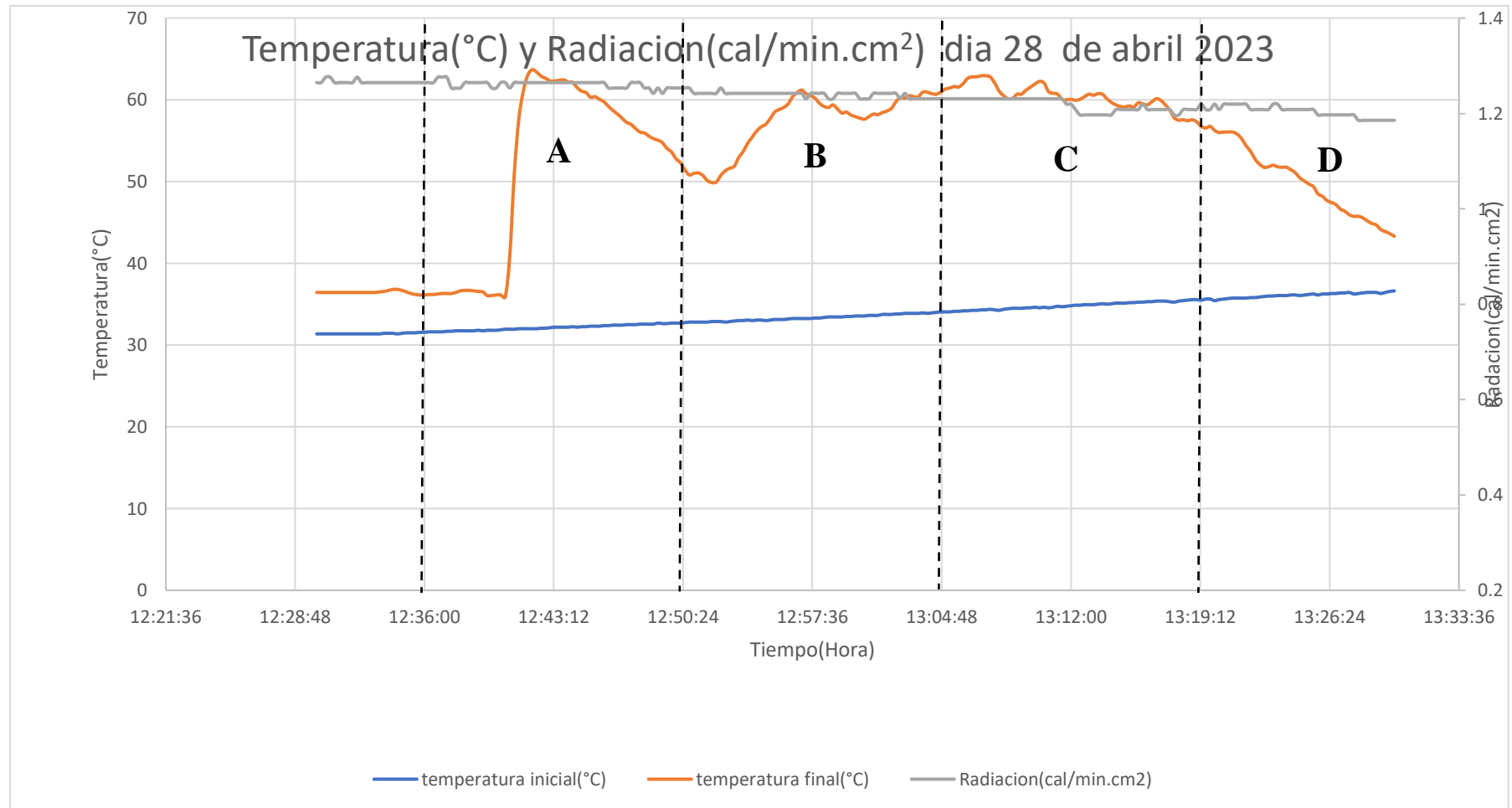
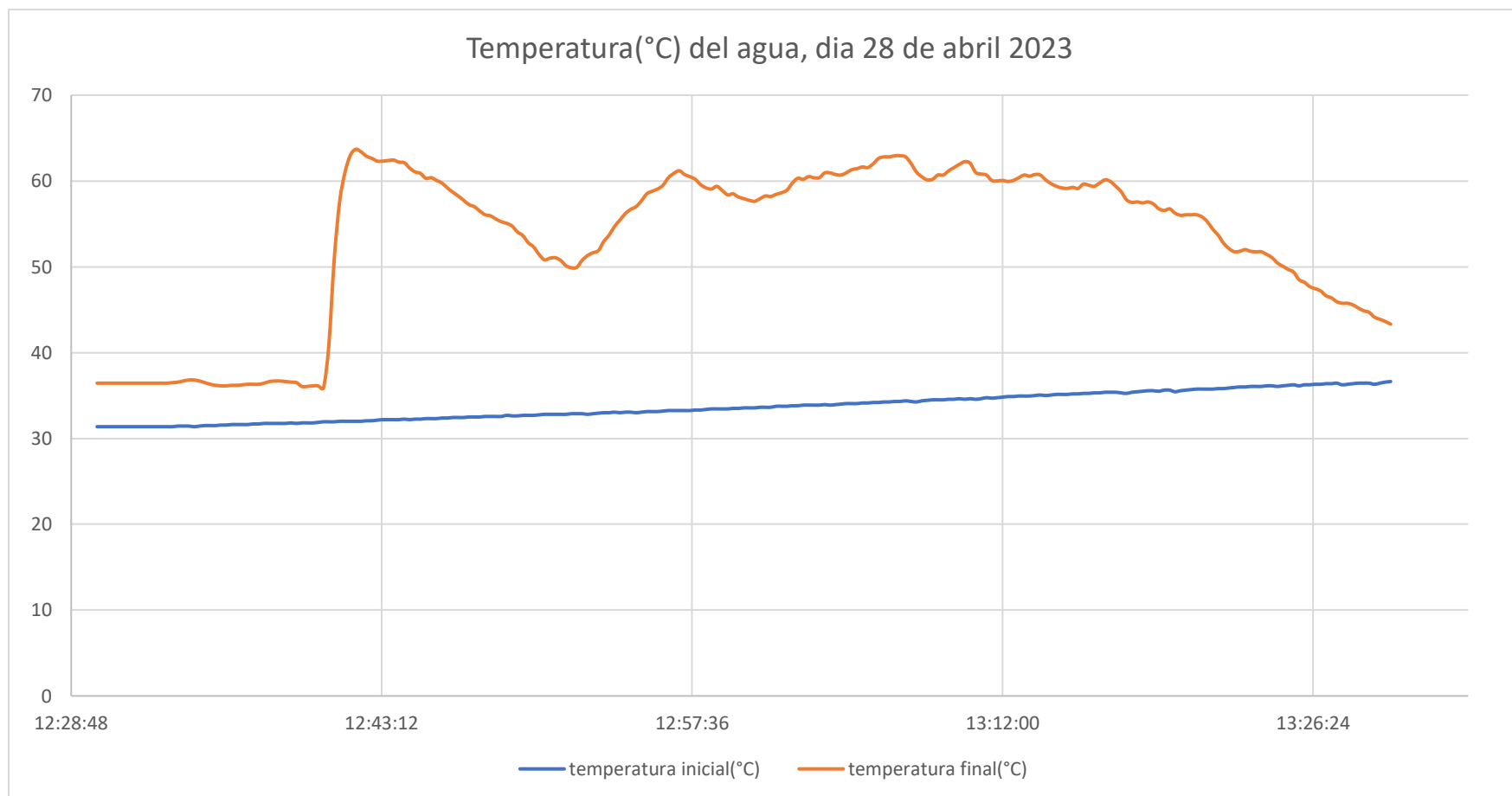


Figura 3.6: Variación de la temperatura y el tiempo



Para explicar los resultados se ha dividido la Figura 3.5 en cuatro partes

En la parte “A” se observa que al inicio la curva es casi constante durante 10.15 minutos con una temperatura promedio de 36.16°C , luego sufre un incremento de hasta alcanzar una temperatura máximo de 63.38°C en un tiempo de 1.85 minutos, debido a que la radiación solar en este intervalo se mantiene casi constante entre 1.26 y $1.25 \text{ cal/min.cm}^2$

En la parte “B” la radiación decae de 1.24 hasta $1.23 \text{ cal/min.cm}^2$ y el agua alcanza un máximo de 60.75°C en un intervalo de tiempo de 7.24 minutos. Esta temperatura se puede aplicar en usos térmicos a través de la transferencia de calor.

En la parte “C” la radiación decae de 1.23 a $1.20 \text{ cal/min.cm}^2$, demorando el agua 2.82 minutos para alcanzar una temperatura máxima de 62.81°C , para luego decaer a 56.75°C en un tiempo de 11.85 minutos.

En la parte “D” la radiación decae de 1.20 a $1.18 \text{ cal/min.cm}^2$, el agua alcanza 56.25°C , en para luego decaer hasta 43.31°C en un tiempo de 10.88 minutos. En estas condiciones el colector solar cilíndrico parabólico no llega a superar el rango de eficiencia de los colectores planos que es de (42%).

Capítulo IV.

4.1 Discusión

De acuerdo con los resultados del presente estudio, la energía solar es captada por colectores cilíndricos parabólicos en un lugar conocido; esto se determinó a partir de las observaciones realizadas; el experimento del 23 de marzo, que se llevó a cabo bajo condiciones climáticas favorables de 10:00 am a 1:00 pm y comenzó con una temperatura mínima de 30.69 °C y una temperatura máxima de 53.06 °C, logrando elevar la temperatura del agua 06 °C, en la Figura 3.1, "se observó que la mayor radiación incidente que se dio en esta prueba fue a las 10.27 am cuando el cielo estaba despejado, el sol emitió una radiación de 968.50 W/m², lo que ayudó a que el agua alcanzara una temperatura favorable de 53.06 °C aproximadamente". (Barrón, 2021).

En comparación con la investigación según Gordon y Tarco (2021), de la Universidad Politécnica Salesiana de Quito encontró los siguientes resultados, con las condiciones climáticas favorables, La prueba se realizó entre las 10.10 y las 13.10 horas con el objetivo de lograr la ebullición. Partiendo de una temperatura mínima de 24,1 °C y una máxima de 41,3 °C, se determinó que la temperatura del agua aumentaría. Esta información se obtuvo utilizando un termómetro digital. Llama la atención que el mayor evento de radiación que se produjo a lo largo de esta prueba ocurrió a las 12:20 PM, cuando el cielo estaba despejado. El sol emitió una radiación de 938,8 W/m². Del análisis se concluyó que los resultados obtenidos tienen un perfil similar para la radiación. Por lo que esto indica que el desempeño del sistema depende mucho de las condiciones climáticas. Además la eficiencia del sistema es baja debido a que el colector no transfiere el rayo incidente total al tubo receptor, lo que podría ser por el material utilizado en la construcción del colector. Otra de las causas de la baja eficiencia en el sistema del CCP podía ser por la pérdida de calor en la superficie del receptor.

Según la investigación Echevarría (2011), Universidad de Piura en Perú encontró los siguientes resultados, La prueba se llevó a cabo desde las "09:00 am hasta las 14:00 pm con condiciones climáticas favorables, es decir, un cielo despejado. El objetivo del experimento era conseguir calentar el agua, comenzando con una temperatura mínima de 25 °C y aumentando hasta una temperatura máxima de 50 °C. Se puede demostrar que la mayor incidencia de radiación que se produjo a lo largo de esta prueba ocurrió a las 12:20 PM, cuando el cielo estaba despejado, cuando el sol emitió una radiación de 1044,10 W/m². Podemos concluir que los resultados obtenidos tienen un perfil similar para la radiación. Por lo que esto indica que el desempeño del sistema depende mucho de las condiciones climáticas. La eficiencia del sistema es 64.61% debido a que el colector no transfiere el rayo incidente total al tubo receptor, lo que podría ser por el material utilizado en la construcción del colector.

4.2 Conclusiones

1. Se logró diseñar y construir el colector cilíndrico parabólico para el calentamiento de agua, que era el objetivo planteado del trabajo de investigación.
2. El diseño del colector cilíndrico parabólico se tuvo en cuenta las dimensiones y medidas exactas según la teoría de autores que han investigado sobre el tema.
3. En la construcción del equipo se adquirió material como una plancha de acero galvanizado, fierro cuadrado, varillas de fierro, un tubo de cobre y soldadura; teniendo en cuenta el diseño que ya se tenía hecho. Respecto al colector cilíndrico parabólico que se construyó tiene un área de trabajo que representa el 4.03% del área total del concentrador. Pero se alcanzó una eficiencia de 16,77%, este valor está por debajo de este tipo de colectores, pero para lo que se requiere usarlo en el hogar es ideal esta eficiencia.
4. Se evaluó el colector cilíndrico parabólico para que este en óptimas condiciones para poder tomar los datos que se necesita para el presente trabajo. Logrando el día 23 de marzo obtener una temperatura de 53.06°C para una radiación promedio de $1,39 \text{ cal/ min.cm}^2$. Y para el día 14 de abril se obtener una temperatura de 40.31°C para una radiación promedio de $10,61 \text{ cal/ min.cm}^2$. Y en el día 28 de abril se logró obtener una temperatura de 53.15°C para una radiación promedio de $1,24 \text{ cal/ min.cm}^2$.

4.3 Recomendaciones

1. Se recomienda que para obtener un mejor rendimiento para este tipo de colectores se debe tener un cuidado especial al momento de su construcción, Esto se debe a que es un factor importante para aprovechar la radiación del medio ambiente.
2. Se recomienda evaluar el colector cilíndrico parabólico para diferentes niveles de radiación solar, y utilizar un flujo continuo de agua a través del tubo colector de cobre.
3. Se sugiere evaluar el colector utilizando materiales reflectantes diferentes a la del acero galvanizado. Para aumentar la eficiencia de un colector cilíndrico parabólico, siempre se debe asegurar que la radiación que ingresa al colector sea normal al plano de apertura. Para ello, es conveniente evaluar el sistema utilizando un sistema de seguimiento Solar Continuo.
4. Se recomienda realizar un análisis termodinámico que incluya el mecanismo de desplazamiento del agua para investigar la pérdida de calor del receptor cuando la superficie del colector esta perpendicular a los rayos del sol.
5. Se recomienda fomentar el uso de este tipo de energía no convencional ya que la ventaja de este tipo de tecnología frente a otras tecnologías es que no emite gases de efecto invernadero y no contribuye al calentamiento global.

Referencias Bibliográficas

- Arancibia, B., Best, R., & Brown. (2010). Energía del Sol. <https://n9.cl/k4hn>
- Bagarozza, E. (2002). Diseño de un Colector Solar Cilíndrico Parabólico y Construcción de un Prtotipo [Tesis de Pregrado, Corporación Universitaria Tecnológica del Bolívar]. <https://n9.cl/9kuz9>
- Barrón, J. (2021). Modelado Y Construcción De Un Concentrador Parabólico Compuesto Con Receptor Aletado Para Uso Residencial [Tesis de Doctorado, Centro de Investigación Científica de Yucatán]. <https://n9.cl/647h2>
- Bustos, J. (2020, noviembre 27). Historia de la energía solar. Grandes hitos que debemos conocer. E4e Soluciones. <https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica-grandes-hitos-en-el-tiempo-que-todos-debemos-conocer>
- Castillo, M., & Gómez, R. (2016). Efecto de la esterilización del suelo con vapor de agua sobre semillas de malezas. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 409. <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.21286>
- Cisneros, C., Recalde, C., Morales, J., Cisneros, C., Recalde, C., & Morales, J. (2021). Flujo en un colector de tubos al vacío en régimen termosifón. *Ingeniería Mecánica*, 24(2), 31-36. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1815-59442021000200031&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Cooper. (1969). The absorption of radiation in solar stills. *Solar Energy*, 12, 333-346. [https://doi.org/DOI: 10.1016/0038-092X\(69\)90047-4](https://doi.org/DOI: 10.1016/0038-092X(69)90047-4)

De Juana, J. (2001). Energías Renovables para el Desarrollo.

<https://www.agapea.com/libros/Energias-renovables-para-el-desarrollo-9788428328074-i.htm>

Echevarría, C. (2011). Diseño de un colector cilindro parabólico compuesto con aplicación para el calentamiento de agua. Universidad de Piura.

<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1389>

Enelgreenpower. (2021). Todas las ventajas de la energía solar. <https://n9.cl/2h1ow>

Gordon, J., & Tarco, R. (2021). Diseño y construcción de un concentrador solar de tipo canal cilindro-parabólico para la cocción de alimentos [Tesis de Pregrado].

<https://n9.cl/1fvu1>

López. (2023). Historia de la Energía Termosolar.

<http://www.centralesternosolares.com/historia-de-la-energia-termosolar>

Pacheco, W. (2006). Colector parabólico compuesto para therma solar. Industrial Data, 9(2), 007. <https://doi.org/10.15381/idata.v9i2.5860>

Paredes, R. (2012). Diseño y construcción de un colector parabólico compuesto de tubos evacuados para aplicaciones de temperaturas intermedias [BachelorThesis, Espol].

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/43900>

Planas, O. (2015). Historia de la energía solar, evolución desde la antigüedad. Energía Solar. <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/historia>

Portillo, G. (2021, junio 8). Características del sol. Meteorología en Red.

<https://www.meteorologiaenred.com/que-es-el-sol.html>

Primera planta solar de la historia. (2022, noviembre 1). <https://ecoinventos.com/primera-planta-solar-de-la-historia/>

Quinteros, J. (2008). Estudio Teórico y Experimental de Colector Solar Parabólico para Generación de Energía Eléctrica. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103053>

Yunus, C. (2007). Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico (3.^a ed.).

<https://n9.cl/u3z58>

Anexos

Anexo 1: Datos Básicos de la construcción del CCP

- 01 Plancha de acero inoxidable de (2,20 m x 1,20m) de 1,16 mm de espesor.
- 01 tubo de cobre de 35 m (6mm de diámetro y 1mm de espesor)
- 02 varillas de ángulo de 2.40 m.
- 02 tubos cuadrados de 4 m.
- 05 varillas de fierro de ½” de 6 m.
- 02 varillas de fierro de ¾” de 6 m.
- 01 Arduino (tarjeta de adquisición de datos)
- 03 Sensor de temperatura
- 01 Laptop

Anexo 2: Instrumentos de Recolección de Datos



Modelo de piranómetro



Modelo de piranómetro



Modelo de tarjeta de adquisición de datos



Construcción del colector cilíndrico parabólico en el taller



Llegada del Colector solar a la estación meteorológica



Colector solar en la estación meteorológica



Colector solar orientado para toma de datos



Colector solar preparando la lapto para la toma de datos



Colector solar tomando datos al medio dia



Colector solar tomando datos



Colector solar al medio día

Anexo 3: Formato de Tabulación de Datos

TABLA N° 3.4: Registro de Temperatura (°C) para el Agua y la Radiación solar (cal/min.cm ²) para el día 23 de Marzo del 2023							
Hora	T _e	T _s	Radiación	Hora	T _e	T _s	Radiación
10:00:00	30.69	43.69	1.388867979	10:16:15	31.31	43.56	1.388867979
10:00:25	30.69	44.19	1.388867979	10:16:40	31.31	45.13	1.388867979
10:00:50	30.69	45.38	1.400159588	10:17:05	31.37	43.88	1.388867979
10:01:15	30.75	45.5	1.400159588	10:17:30	31.37	42.06	1.388867979
10:01:40	30.75	45.56	1.400159588	10:17:55	31.37	43.44	1.388867979
10:02:05	30.75	45.94	1.400159588	10:18:20	31.37	42.13	1.388867979
10:02:30	30.81	46.06	1.400159588	10:18:45	31.44	40.94	1.388867979
10:02:55	30.81	45.38	1.388867979	10:19:10	31.44	41.63	1.388867979
10:03:20	30.81	45.88	1.388867979	10:19:35	31.44	40.56	1.388867979
10:03:45	30.87	46.44	1.388867979	10:20:00	31.5	42.81	1.388867979
10:04:10	30.87	47.06	1.388867979	10:20:25	31.5	44.63	1.388867979
10:04:35	30.87	46.31	1.388867979	10:20:50	31.5	44.38	1.388867979
10:05:00	30.87	42.88	1.400159588	10:21:15	31.5	42.81	1.388867979
10:05:25	30.94	43.06	1.400159588	10:21:40	31.5	48.69	1.388867979
10:05:50	30.94	40.56	1.400159588	10:22:05	31.56	49.5	1.388867979
10:06:15	30.94	41.06	1.400159588	10:22:30	31.56	51.06	1.388867979
10:06:40	31	41.75	1.400159588	10:22:55	31.56	51.25	1.388867979
10:07:05	31	43.25	1.388867979	10:23:20	31.56	51.13	1.388867979
10:07:30	31	41.88	1.388867979	10:23:45	31.62	51	1.388867979
10:07:55	31	41.81	1.388867979	10:24:10	31.62	51.81	1.388867979
10:08:20	31	42.94	1.388867979	10:24:35	31.62	52.38	1.388867979
10:08:45	31.06	42.13	1.388867979	10:25:00	31.69	52.25	1.388867979
10:09:10	31.06	43.13	1.388867979	10:25:25	31.69	52.63	1.388867979
10:09:35	31.06	43.38	1.388867979	10:25:50	31.69	52.56	1.388867979
10:10:00	31.12	42.44	1.388867979	10:26:15	31.69	52.88	1.388867979
10:10:25	31.12	42.06	1.388867979	10:26:40	31.69	52.38	1.388867979
10:10:50	31.12	41.19	1.388867979	10:27:05	31.75	52.81	1.388867979
10:11:15	31.12	42.63	1.388867979	10:27:30	31.75	53.06	1.388867979
10:11:40	31.12	44.88	1.388867979	10:27:55	31.75	51.56	1.388867979
10:12:05	31.19	44.94	1.400159588	10:28:20	31.75	51.38	1.388867979
10:12:30	31.19	43.94	1.400159588	10:28:45	31.81	51.31	1.388867979
10:12:55	31.19	42.63	1.400159588	10:29:10	31.81	51.31	1.388867979
10:13:20	31.25	42.13	1.388867979	10:29:35	31.81	51.19	1.388867979
10:13:45	31.25	42.69	1.388867979	10:30:00	31.81	51	1.388867979
10:14:10	31.25	43.44	1.388867979	10:30:25	31.87	50.25	1.388867979
10:14:35	31.25	40.63	1.400159588	10:30:50	31.87	50.56	1.388867979
10:15:00	31.25	41.56	1.388867979	10:31:15	31.87	49.44	1.388867979
10:15:25	31.31	43.75	1.388867979	10:31:40	31.94	49.56	1.388867979
10:15:50	31.31	43.00	1.388867979	10:32:05	31.94	49.19	1.388867979

TABLA N° 3.5: Registro de Temperatura (°C) para el Agua y la Radiación solar.(cal/min.cm²) para el día 14 de Abril del 2023. (día nublado)

Hora	T_e	T_{os}	Radiación	Hora	T_e	T_{os}	Radiación
11:40:00	30.87	40.13	0.598455308	11:49:45	31.44	41.19	0.80170428
11:40:15	30.87	40.25	0.609746917	11:50:00	31.44	41.13	0.81299589
11:40:30	30.87	40.44	0.609746917	11:50:15	31.44	41.13	0.835579109
11:40:45	30.94	40.5	0.621038527	11:50:30	31.5	41.13	0.858162328
11:41:00	30.94	40.56	0.632330137	11:50:45	31.5	41.13	0.892037157
11:41:15	30.94	40.56	0.643621746	11:51:00	31.56	41.13	0.903328767
11:41:30	30.94	40.69	0.654913356	11:51:15	31.56	41.13	0.903328767
11:41:45	31	40.88	0.654913356	11:51:30	31.56	41.25	0.914620376
11:42:00	31	40.88	0.666204965	11:51:45	31.62	41.31	0.937203595
11:42:15	31	40.81	0.677496575	11:52:00	31.62	41.38	1.038828081
11:42:30	31	40.75	0.677496575	11:52:15	31.62	41.56	1.140452568
11:42:45	31	40.69	0.677496575	11:52:30	31.62	41.69	1.174327396
11:43:00	31.06	40.75	0.688788184	11:52:45	31.69	41.88	1.140452568
11:43:15	31.06	40.75	0.688788184	11:53:00	31.69	42.06	1.129160958
11:43:30	31.06	40.69	0.688788184	11:53:15	31.69	42.31	1.151744177
11:43:45	31.12	40.69	0.700079794	11:53:30	31.75	42.63	1.08399452
11:44:00	31.12	40.63	0.700079794	11:53:45	31.75	42.94	0.982370034
11:44:15	31.12	40.75	0.700079794	11:54:00	31.75	43.19	0.914620376
11:44:30	31.12	40.81	0.711371404	11:54:15	31.81	43.38	0.880745547
11:44:45	31.19	40.88	0.711371404	11:54:30	31.81	43.5	0.858162328
11:45:00	31.19	41	0.711371404	11:54:45	31.81	43.56	0.846870719
11:45:15	31.19	41.19	0.722663013	11:55:00	31.81	43.75	0.835579109
11:45:30	31.19	41.38	0.733954623	11:55:15	31.81	44	0.835579109
11:45:45	31.25	41.44	0.745246232	11:55:30	31.87	44	0.846870719
11:46:00	31.25	41.44	0.756537842	11:55:45	31.87	44	0.869453938
11:46:15	31.25	41.31	0.756537842	11:56:00	31.87	44.25	0.914620376
11:46:30	31.25	41.31	0.745246232	11:56:15	31.87	44.56	0.925911986
11:46:45	31.31	41.38	0.733954623	11:56:30	31.87	44.63	0.914620376
11:47:00	31.31	41.38	0.711371404	11:56:45	31.94	44.81	0.880745547
11:47:15	31.31	41.31	0.711371404	11:57:00	31.94	44.94	0.858162328
11:47:30	31.31	41.25	0.711371404	11:57:15	32	45.13	0.858162328
11:47:45	31.31	41.13	0.711371404	11:57:30	32	45.19	0.846870719
11:48:00	31.31	41.13	0.733954623	11:57:45	32	45.31	0.835579109
11:48:15	31.37	41.19	0.745246232	11:58:00	32.06	45.5	0.81299589
11:48:30	31.37	41	0.790412671	11:58:15	32.06	45.56	0.81299589
11:48:45	31.37	41	0.790412671	11:58:30	32.06	45.69	0.81299589
11:49:00	31.37	41.06	0.779121061	11:58:45	32.06	45.75	0.790412671
11:49:15	31.44	41.06	0.779121061	11:59:00	32.06	45.88	0.790412671
11:49:30	31.44	41.06	0.790412671	11:59:15	32.06	45.94	0.790412671

11:59:30	32.13	46.06	0.790412671	12:11:30	32.94	45.06	0.81299589
11:59:45	32.13	46.06	0.779121061	12:11:45	32.94	45.19	0.824287499
12:00:00	32.13	46.19	0.80170428	12:12:00	33	45.06	0.835579109
12:00:15	32.19	46.25	0.80170428	12:12:15	33	44.88	0.835579109
12:01:30	32.25	46.38	0.925911986	12:12:30	33	44.88	0.858162328
12:01:45	32.25	46.38	0.925911986	12:12:45	33.06	45	0.846870719
12:02:00	32.25	46.31	0.959786814	12:13:00	33.06	45	0.846870719
12:02:15	32.31	46.31	0.993661643	12:13:15	33.06	45.25	0.846870719
12:02:30	32.31	46.31	1.016244862	12:13:30	33.13	45.25	0.835579109
12:02:45	32.31	46.13	1.061411301	12:13:45	33.13	45.19	0.835579109
12:03:00	32.38	45.88	1.050119691	12:14:00	33.13	45.19	0.858162328
12:03:15	32.38	45.81	1.050119691	12:14:15	33.13	45.19	0.835579109
12:03:30	32.38	45.88	1.061411301	12:14:30	33.13	45.38	0.790412671
12:03:45	32.44	46.06	1.061411301	12:14:45	33.19	45.5	0.745246232
12:04:00	32.44	46.13	1.07270291	12:15:00	33.19	45.69	0.722663013
12:04:15	32.44	46.25	1.08399452	12:15:15	33.19	45.56	0.688788184
12:04:30	32.5	46.44	1.050119691	12:15:30	33.19	45.5	0.677496575
12:04:45	32.5	46.63	1.027536472	12:15:45	33.25	45.19	0.666204965
12:05:00	32.5	46.81	1.016244862	12:16:00	33.25	45	0.643621746
12:05:15	32.5	46.75	1.004953253	12:16:15	33.25	44.81	0.621038527
12:05:30	32.56	46.81	1.016244862	12:16:30	33.31	44.5	0.609746917
12:05:45	32.56	46.94	0.982370034	12:16:45	33.25	44.31	0.587163698
12:06:00	32.63	47.13	0.959786814	12:17:00	33.25	44.06	0.575872089
12:06:15	32.63	47.25	0.914620376	12:17:15	33.31	44	0.575872089
12:06:30	32.63	47.38	0.892037157	12:17:30	33.31	43.81	0.564580479
12:06:45	32.63	47.44	0.869453938	12:17:45	33.31	43.75	0.553288869
12:07:00	32.69	47.38	0.846870719	12:18:00	33.31	43.56	0.553288869
12:07:15	32.69	47.38	0.824287499	12:18:15	33.31	43.5	0.553288869
12:07:30	32.69	47.25	0.81299589	12:18:30	33.38	43.5	0.553288869
12:07:45	32.69	47.06	0.790412671	12:18:45	33.38	43.44	0.54199726
12:08:00	32.69	46.94	0.779121061	12:19:00	33.38	43.25	0.553288869
12:08:15	32.75	46.88	0.779121061	12:19:15	33.38	43.06	0.553288869
12:08:30	32.75	46.75	0.767829452	12:19:30	33.38	43.13	0.553288869
12:08:45	32.81	46.81	0.756537842	12:19:45	33.44	43.25	0.553288869
12:09:00	32.81	46.94	0.745246232	12:20:00	33.44	43.31	0.553288869
12:09:15	32.81	46.88	0.745246232	12:20:15	33.44	43.38	0.553288869
12:09:30	32.81	46.81	0.733954623	12:20:30	33.44	43.25	0.564580479
12:09:45	32.81	46.44	0.722663013	12:20:45	33.44	43.19	0.564580479
12:10:00	32.88	46.06	0.722663013	12:21:00	33.44	43.25	0.564580479
12:10:15	32.88	45.63	0.722663013	12:21:15	33.5	43.31	0.575872089
12:10:30	32.88	45.25	0.745246232	12:21:30	33.5	43.25	0.575872089
12:10:45	32.88	45.06	0.733954623	12:21:45	33.5	43.06	0.587163698
12:11:00	32.94	45	0.767829452	12:22:00	33.5	43	0.598455308
12:11:15	32.94	44.94	0.790412671	12:22:15	33.56	43.06	0.621038527

12:22:30	33.56	43.06	0.654913356	12:33:30	34.06	43.13	0.350039897
12:22:45	33.56	43	0.688788184	12:33:45	34.06	42.94	0.338748287
12:23:00	33.56	42.88	0.711371404	12:34:00	34.06	42.75	0.338748287
12:23:15	33.56	42.88	0.722663013	12:34:15	34.06	42.31	0.327456678
12:23:30	33.63	42.81	0.733954623	12:34:30	34.06	42.19	0.316165068
12:23:45	33.63	42.69	0.745246232	12:34:45	34.06	41.75	0.304873459
12:24:00	33.63	42.69	0.745246232	12:35:00	34.06	41.25	0.304873459
12:24:15	33.69	42.75	0.756537842	12:35:15	34.06	41	0.293581849
12:24:30	33.69	42.94	0.767829452	12:35:30	34.06	40.75	0.293581849
12:24:45	33.69	43	0.790412671	12:35:45	34.06	40.38	0.28229024
12:25:00	33.75	43.06	0.80170428	12:36:00	34.06	40.06	0.28229024
12:25:15	33.75	43.13	0.81299589	12:36:15	34.06	39.75	0.27099863
12:25:30	33.75	43.19	0.835579109	12:36:30	34.06	39.5	0.27099863
12:25:45	33.75	43.38	0.835579109	12:36:45	34.06	39.13	0.27099863
12:26:00	33.75	43.75	0.767829452	12:37:00	34.06	38.81	0.27099863
12:26:15	33.81	44.13	0.733954623	12:37:15	34.06	38.5	0.27099863
12:26:30	33.81	44.38	0.733954623	12:37:30	34.06	38.25	0.25970702
12:26:45	33.81	44.63	0.733954623	12:37:45	34.06	37.88	0.25970702
12:27:00	33.81	44.88	0.733954623	12:38:00	34.06	37.63	0.25970702
12:27:15	33.88	45.06	0.756537842	12:38:15	34.06	37.31	0.25970702
12:27:30	33.88	45.06	0.767829452	12:38:30	34.06	37.06	0.25970702
12:27:45	33.88	44.88	0.756537842	12:38:45	34.13	36.81	0.25970702
12:28:00	33.88	44.63	0.733954623	12:39:00	34.13	36.56	0.25970702
12:28:15	33.88	44.75	0.711371404	12:39:15	34.13	36.19	0.25970702
12:28:30	33.88	44.75	0.666204965	12:39:30	34.13	36	0.25970702
12:28:45	33.94	44.75	0.643621746	12:39:45	34.13	35.81	0.25970702
12:29:00	33.94	44.69	0.632330137	12:40:00	34.13	35.69	0.25970702
12:29:15	33.94	44.75	0.643621746	12:40:15	34.13	35.63	0.25970702
12:29:30	33.94	44.63	0.632330137	12:40:30	34.13	35.63	0.25970702
12:29:45	33.94	44.56	0.621038527	12:40:45	34.13	35.63	0.25970702
12:30:00	33.94	44.44	0.575872089	12:41:00	34.13	35.63	0.248415411
12:30:15	33.94	44.38	0.553288869	12:41:15	34.13	35.44	0.248415411
12:30:30	33.94	44.25	0.54199726	12:41:30	34.13	35.25	0.248415411
12:30:45	34	44.06	0.519414041	12:41:45	34.13	35.13	0.248415411
12:31:00	34	43.94	0.508122431	12:42:00	34.13	35	0.248415411
12:31:15	34	43.75	0.474247602	12:42:15	34.13	34.88	0.248415411
12:31:30	34	43.75	0.462955993	12:42:30	34.13	34.81	0.248415411
12:31:45	34	43.81	0.440372774	12:42:45	34.13	34.63	0.248415411
12:32:00	34	44	0.417789555	12:43:00	34.19	34.56	0.248415411
12:32:15	34	43.81	0.406497945	12:43:15	34.19	34.31	0.248415411
12:32:30	34	43.69	0.395206335	12:43:30	34.13	34.19	0.248415411
12:32:45	34	43.63	0.383914726	12:43:45	34.19	34	0.248415411
12:33:00	34	43.5	0.372623116	12:44:00	34.19	33.94	0.248415411
12:33:15	34	43.38	0.361331507	12:44:15	34.19	33.88	0.248415411

12:44:30	34.19	33.75	0.25970702	12:55:30	34.44	34.06	0.53070565
12:44:45	34.19	33.63	0.25970702	12:55:45	34.5	34.19	0.53070565
12:45:00	34.19	33.56	0.25970702	12:56:00	34.5	34.25	0.53070565
12:45:15	34.25	33.5	0.25970702	12:56:15	34.5	34.38	0.53070565
12:45:30	34.25	33.56	0.25970702	12:56:30	34.5	34.38	0.53070565
12:45:45	34.25	33.5	0.27099863	12:56:45	34.5	34.38	0.54199726
12:46:00	34.25	33.44	0.27099863	12:57:00	34.5	34.44	0.54199726
12:46:15	34.25	33.38	0.293581849	12:57:15	34.5	34.5	0.53070565
12:46:30	34.25	33.31	0.293581849	12:57:30	34.5	34.56	0.53070565
12:46:45	34.25	33.31	0.304873459	12:57:45	34.5	34.63	0.53070565
12:47:00	34.25	33.31	0.316165068	12:58:00	34.5	34.56	0.53070565
12:47:15	34.25	33.38	0.316165068	12:58:15	34.56	34.5	0.519414041
12:47:30	34.25	33.31	0.316165068	12:58:30	34.56	34.5	0.519414041
12:47:45	34.25	33.38	0.327456678	12:58:45	34.56	34.56	0.519414041
12:48:00	34.25	33.31	0.327456678	12:59:00	34.56	34.56	0.508122431
12:48:15	34.25	33.38	0.338748287	12:59:15	34.56	34.56	0.508122431
12:48:30	34.25	33.38	0.338748287	12:59:30	34.56	34.63	0.508122431
12:48:45	34.25	33.38	0.350039897	12:59:45	34.56	34.56	0.496830822
12:49:00	34.31	33.38	0.361331507	13:00:00	34.56	34.5	0.496830822
12:49:15	34.31	33.31	0.361331507	13:00:15	34.56	34.5	0.496830822
12:49:30	34.31	33.38	0.361331507	13:00:30	34.56	34.44	0.485539212
12:49:45	34.31	33.44	0.383914726	13:00:45	34.63	34.31	0.485539212
12:50:00	34.31	33.38	0.383914726	13:01:00	34.63	34.38	0.485539212
12:50:15	34.31	33.38	0.383914726	13:01:15	34.63	34.44	0.474247602
12:50:30	34.31	33.38	0.406497945	13:01:30	34.63	34.5	0.462955993
12:50:45	34.31	33.38	0.417789555	13:01:45	34.63	34.56	0.462955993
12:51:00	34.31	33.38	0.417789555	13:02:00	34.63	34.56	0.451664383
12:51:15	34.38	33.38	0.417789555	13:02:15	34.63	34.44	0.451664383
12:51:30	34.38	33.44	0.429081164	13:02:30	34.63	34.44	0.451664383
12:51:45	34.38	33.56	0.440372774	13:02:45	34.63	34.5	0.451664383
12:52:00	34.38	33.63	0.451664383	13:03:00	34.69	34.56	0.451664383
12:52:15	34.38	33.63	0.462955993	13:03:15	34.69	34.63	0.451664383
12:52:30	34.38	33.63	0.462955993	13:03:30	34.69	34.56	0.451664383
12:52:45	34.38	33.75	0.474247602	13:03:45	34.69	34.56	0.451664383
12:53:00	34.38	33.75	0.474247602	13:04:00	34.69	34.5	0.451664383
12:53:15	34.38	33.75	0.485539212	13:04:15	34.69	34.44	0.451664383
12:53:30	34.38	33.81	0.496830822	13:04:30	34.69	34.44	0.451664383
12:53:45	34.38	33.88	0.496830822	13:04:45	34.69	34.38	0.451664383
12:54:00	34.44	33.88	0.508122431	13:05:00	34.69	34.31	0.451664383
12:54:15	34.44	33.94	0.508122431	13:05:15	34.75	34.31	0.440372774
12:54:30	34.44	34	0.519414041	13:05:30	34.75	34.31	0.440372774
12:54:45	34.44	34	0.519414041	13:05:45	34.75	34.25	0.440372774
12:55:00	34.44	34	0.519414041	13:06:00	34.75	34.25	0.440372774
12:55:15	34.44	34	0.53070565	13:06:15	34.75	34.31	0.440372774

TABLA N° 3.6: Registro de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) para el Agua y la Radiación solar. (cal/min.cm 2) para el día 28 de abril del 2023

Hora	T_e	T_s	Radiación	Hora	T_e	T_s	Radiación
12:30:00	31.37	36.44	1.264660273	12:40:15	31.87	36.13	1.264660273
12:30:15	31.37	36.44	1.264660273	12:40:30	31.94	35.88	1.264660273
12:30:30	31.37	36.44	1.275951883	12:40:45	31.94	40.88	1.253368664
12:30:45	31.37	36.44	1.275951883	12:41:00	31.94	50.88	1.264660273
12:31:00	31.37	36.44	1.264660273	12:41:15	32	57.56	1.264660273
12:31:15	31.37	36.44	1.264660273	12:41:30	32	61	1.264660273
12:31:30	31.37	36.44	1.264660273	12:41:45	32	63	1.264660273
12:31:45	31.37	36.44	1.264660273	12:42:00	32	63.69	1.264660273
12:32:00	31.37	36.44	1.264660273	12:42:15	32	63.38	1.264660273
12:32:15	31.37	36.44	1.275951883	12:42:30	32.06	62.88	1.264660273
12:32:30	31.37	36.44	1.264660273	12:42:45	32.06	62.63	1.264660273
12:32:45	31.37	36.44	1.264660273	12:43:00	32.13	62.31	1.264660273
12:33:00	31.37	36.44	1.264660273	12:43:15	32.19	62.31	1.264660273
12:33:15	31.37	36.44	1.264660273	12:43:30	32.19	62.38	1.264660273
12:33:30	31.37	36.5	1.264660273	12:43:45	32.19	62.44	1.264660273
12:33:45	31.44	36.56	1.264660273	12:44:00	32.19	62.19	1.264660273
12:34:00	31.44	36.69	1.264660273	12:44:15	32.25	62.13	1.264660273
12:34:15	31.44	36.81	1.264660273	12:44:30	32.19	61.5	1.264660273
12:34:30	31.37	36.81	1.264660273	12:44:45	32.25	61.06	1.264660273
12:34:45	31.44	36.69	1.264660273	12:45:00	32.25	60.88	1.264660273
12:35:00	31.5	36.5	1.264660273	12:45:15	32.31	60.31	1.264660273
12:35:15	31.5	36.31	1.264660273	12:45:30	32.31	60.38	1.264660273
12:35:30	31.5	36.19	1.264660273	12:45:45	32.31	60.06	1.264660273
12:35:45	31.56	36.13	1.264660273	12:46:00	32.38	59.75	1.264660273
12:36:00	31.56	36.13	1.264660273	12:46:15	32.38	59.19	1.253368664
12:36:15	31.62	36.19	1.264660273	12:46:30	32.44	58.69	1.253368664
12:36:30	31.62	36.19	1.264660273	12:46:45	32.44	58.25	1.253368664
12:36:45	31.62	36.25	1.275951883	12:47:00	32.44	57.75	1.253368664
12:37:00	31.62	36.31	1.275951883	12:47:15	32.5	57.25	1.253368664
12:37:15	31.69	36.31	1.275951883	12:47:30	32.5	57	1.264660273
12:37:30	31.69	36.31	1.253368664	12:47:45	32.5	56.5	1.264660273
12:37:45	31.75	36.44	1.253368664	12:48:00	32.56	56.06	1.264660273
12:38:00	31.75	36.63	1.253368664	12:48:15	32.56	55.94	1.253368664
12:38:15	31.75	36.69	1.264660273	12:48:30	32.56	55.56	1.253368664
12:38:30	31.75	36.69	1.264660273	12:48:45	32.56	55.25	1.242077054
12:38:45	31.75	36.63	1.264660273	12:49:00	32.69	55.06	1.253368664
12:39:00	31.81	36.56	1.264660273	12:49:15	32.63	54.75	1.242077054
12:39:15	31.75	36.5	1.264660273	12:49:30	32.63	54.06	1.253368664
12:39:30	31.81	36.06	1.264660273	12:49:45	32.69	53.63	1.253368664
12:39:45	31.81	36.06	1.253368664	12:50:00	32.69	52.81	1.253368664
12:40:00	31.81	36.13	1.253368664	12:50:15	32.69	52.31	1.253368664

12:50:30	32.75	51.44	1.253368664	13:01:30	33.75	58.44	1.242077054
12:50:45	32.81	50.81	1.253368664	13:01:45	33.75	58.63	1.242077054
12:51:00	32.81	51	1.242077054	13:02:00	33.75	58.94	1.242077054
12:51:15	32.81	51.06	1.242077054	13:02:15	33.81	59.75	1.242077054
12:51:30	32.81	50.75	1.242077054	13:02:30	33.81	60.31	1.230785444
12:51:45	32.81	50.13	1.242077054	13:02:45	33.88	60.19	1.242077054
12:52:00	32.88	49.88	1.242077054	13:03:00	33.88	60.5	1.230785444
12:52:15	32.88	49.94	1.242077054	13:03:15	33.88	60.38	1.230785444
12:52:30	32.88	50.75	1.253368664	13:03:30	33.88	60.38	1.230785444
12:52:45	32.81	51.31	1.242077054	13:03:45	33.94	60.94	1.230785444
12:53:00	32.88	51.63	1.242077054	13:04:00	33.88	60.94	1.230785444
12:53:15	32.94	51.88	1.242077054	13:04:15	33.94	60.75	1.230785444
12:53:30	33	52.94	1.242077054	13:04:30	34	60.69	1.230785444
12:53:45	33	53.69	1.242077054	13:04:45	34.06	60.94	1.230785444
12:54:00	33.06	54.69	1.242077054	13:05:00	34.06	61.31	1.230785444
12:54:15	33	55.44	1.242077054	13:05:15	34.06	61.44	1.230785444
12:54:30	33.06	56.19	1.242077054	13:05:30	34.13	61.63	1.230785444
12:54:45	33.06	56.69	1.242077054	13:05:45	34.13	61.56	1.230785444
12:55:00	33	57	1.242077054	13:06:00	34.19	62	1.230785444
12:55:15	33.06	57.69	1.242077054	13:06:15	34.19	62.63	1.230785444
12:55:30	33.13	58.5	1.242077054	13:06:30	34.25	62.81	1.230785444
12:55:45	33.13	58.81	1.242077054	13:06:45	34.25	62.81	1.230785444
12:56:00	33.13	59.06	1.242077054	13:07:00	34.31	62.94	1.230785444
12:56:15	33.19	59.5	1.242077054	13:07:15	34.31	62.94	1.230785444
12:56:30	33.25	60.38	1.242077054	13:07:30	34.38	62.81	1.230785444
12:56:45	33.25	60.88	1.242077054	13:07:45	34.31	62.06	1.230785444
12:57:00	33.25	61.19	1.242077054	13:08:00	34.25	61.06	1.230785444
12:57:15	33.25	60.75	1.230785444	13:08:15	34.38	60.5	1.230785444
12:57:30	33.25	60.5	1.242077054	13:08:30	34.44	60.13	1.230785444
12:57:45	33.31	60.19	1.242077054	13:08:45	34.5	60.19	1.230785444
12:58:00	33.31	59.56	1.242077054	13:09:00	34.5	60.69	1.230785444
12:58:15	33.38	59.19	1.242077054	13:09:15	34.5	60.69	1.230785444
12:58:30	33.44	59.06	1.230785444	13:09:30	34.56	61.19	1.230785444
12:58:45	33.44	59.38	1.230785444	13:09:45	34.56	61.56	1.230785444
12:59:00	33.44	58.88	1.242077054	13:10:00	34.63	61.94	1.230785444
12:59:15	33.44	58.38	1.242077054	13:10:15	34.56	62.25	1.230785444
12:59:30	33.5	58.5	1.242077054	13:10:30	34.63	62.06	1.230785444
12:59:45	33.5	58.13	1.242077054	13:10:45	34.56	61	1.230785444
13:00:00	33.56	57.94	1.242077054	13:11:00	34.63	60.81	1.230785444
13:00:15	33.56	57.75	1.230785444	13:11:15	34.75	60.69	1.230785444
13:00:30	33.56	57.63	1.230785444	13:11:30	34.69	60.06	1.230785444
13:00:45	33.63	57.94	1.230785444	13:11:45	34.75	60	1.219493835
13:01:00	33.63	58.25	1.242077054	13:12:00	34.81	60.06	1.219493835
13:01:15	33.63	58.19	1.242077054	13:12:15	34.88	59.94	1.208202225

Anexo 4: Resultados de la evaluación del concentrador.

Tabla 3.1: Resultado de la evaluación del concentrador. 23/03/2023		
Variable	Resultado	Unidades
Temperatura inicial Promedio del agua(T_o)	31.82	°C
Temperatura maxima alcanzada del agua(T_{max})	53.06	°C
Volumen del Tubo(V)	209.79	cm ³
Tiempo en alcanzar el agua la temperatura maxima(t)	28	min
Calor especifico del agua (C_e)	1	Cal/g°C
Radiacion solar incidente promedio(Q_r)	1.39	Cal/min.cm ²
Area Transversal (A)	29160	cm ²
Rendimiento del colector(Q_v)	0.15761668	litros/hora
Energia util (Q_u)	14582.0282	cal
Energia incidente (Q_i)	92515.7676	cal
Eficiencia del colector	15.7616681	%

ángulo de inclinación 22.48657371
 ángulo de incidencia 22.48657371

densidad 1
 calor especifico 1
 conductividad térmica del fluido 0.833

para encontrar:
 área de perdida 1200.58308
 energía incidente 92515.7676
 energía útil 14582.0282
 rendimiento 0.15761668

radio de la tubería 0.6 cm
 espesor de la tubería 0.1 cm
 longitud de vuelta 11.1 cm
 numero de vueltos 315 revoluciones

área 561.498639 cm²
 5895.73571 cm³
 volumen 5.89573571 litro
 caudal 3.93049047 cm³/s
 3930.49047

Tabla 3.2: Resultado de la evaluacion del concentrador. 14/04/2023		
Variable	Resultado	Unidades
Temperatura inicial Promedio del agua(T_o)	33.3	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura maxima alcanzada del agua(T_{max})	40.31	$^{\circ}\text{C}$
Volumen del Tubo(V)	209.79	cm^3
Tiempo en alcanzar el agua la temperatura maxima(t)	90	min
Calor especifico del agua (C_e)	1	$\text{Cal/g}^{\circ}\text{C}$
Radiacion solar incidente promedio(Q_r)	0.61	Cal/min.cm^2
Area Transversal (A)	29160	cm^2
Rendimiento del colector(Q_v)	3.93	litros/hora
Energia util (Q_u)	4812.61855	cal
Energia incidente (Q_i)	62421.8655	cal
Eficiencia del colector	7.70982814	%

radio de la tubería 0.6 cm
 espesor de la tubería 0.1 cm
 longitud de vuelta 11.1 cm
 numero de vueltos 315 rev.

Lado recto 93.28
 F_m 31.09333333

concentración geométrica .141592654
 0

para encontrar:
 área de perdida 1235.939121
 energía incidente 62421.86546
 energía útil 4812.618549
 rendimiento 0.077098281

densidad 1
 calor especifico 1
 conductividad térmica del fluido 0.833

radio de la tubería 0.6 cm
 espesor de la tubería 0.1 cm
 longitud de vuelta 11.1 cm
 numero de vueltos 315 rev.

Tabla 3.3: :Resultado de la evaluacion del concentrador. 28/04/2023

Variable	Resultado	Unidades
Temperatura inicial Promedio del agua(T_o)	33.7	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura maxima alcanzada del agua(T_{max})	53.15	$^{\circ}\text{C}$
Volumen del Tubo(V)	209.79	cm^3
Tiempo en alcanzar el agua la temperatura maxima(t)	60	min
Calor especifico del agua (C_e)	1	$\text{Cal/g}^{\circ}\text{C}$
Radiacion solar incidente promedio(Q_r)	1.24	Cal/min.cm^2
Area Transversal (A)	29160	cm^2
Rendimiento del colector(Q_v)	4.0427902	litros/hora
Energia util (Q_u)	13353.1285	cal
Energia incidente (Q_i)	79608.8902	cal
Eficiencia del colector	16.7734137	%

radio de la tubería 0.6 cm
 espesor de la tubería 0.1 cm
 longitud de vuelta 11.1 cm
 numero de vueltos 315 Rev.

foco 23.32
 Lado recto 93.28
 Fm 31.0933333

concentración geométrica
 3.141592654
 0

para encontrar:
 área de perdida 735.947199
 Energía incidente 79608.8902
 Energía útil 13353.1285
 rendimiento 0.16773414

densidad 1
 calor especifico 1
 conductividad térmica del fluido 0.833

Diseño y construcción de un colector cilíndrico parabólico para uso de la energía solar en el calentamiento de agua

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%	12%	0%	7%
ÍNDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
... Salto de columna Salto de columna

FUENTES PRIMARIAS

-1-	hdl.handle.net	2%
	Fuente de Internet	
-2-	repositorio.uncp.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
-3-	www.scielo.org.mx	1%
	Fuente de Internet	
-4-	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo	1%
	Trabajo del estudiante	
-5-	dspace.ups.edu.ec	1%
	Fuente de Internet	
-6-	biblioteca.unitecnologica.edu.co	1%
	Fuente de Internet	
-7-	www.docsity.com → → →	<1%
	Fuente de Internet	
-8-	Submitted to Universidad Continental	<1%
	Trabajo del estudiante	
 Salto de columna	

9	repositorio.unprg.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
10	www.hogarsense.es	Fuente de Internet	<1%
11	docplayer.es	Fuente de Internet	<1%
12	Submitted to: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, UNAD	Trabajo del estudiante	<1%
13	riaa.uaem.mx	Fuente de Internet	<1%
14	proyectoenergiasolar.wordpress.com	Fuente de Internet	<1%
15	www.ecorfan.org	Fuente de Internet	<1%
16	www.redepapa.org	Fuente de Internet	<1%
17	www.scielo.sa.cr	Fuente de Internet	<1%
18	Submitted to: Universidad Nacional del Centro del Perú	Trabajo del estudiante	<1%
19	bibdigital.epn.edu.ec	Fuente de Internet	<1%


 OSCAR VELASCO VELAZQUEZ
 ASESOR

20	repositorio.utea.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
21	www.upme.gov.co	<1 %
	Fuente de Internet	
22	vsip.info	<1 %
	Fuente de Internet	
23	www.researchgate.net	<1 %
	Fuente de Internet	
24	pirhua.udep.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
25	Submitted to Universidad de Guayaquil	<1 %
	Trabajo del estudiante	
26	dspace.unl.edu.ec	<1 %
	Fuente de Internet	
27	es.scribd.com	<1 %
	Fuente de Internet	
28	repositorio.uan.edu.co	<1 %
	Fuente de Internet	

Excluir citas

Activo

Excluir bibliografía

Activo

Excluir coincidencias < 15 words



 Dr. Oscar Williams, ~~Nacional~~ Obando
 Autor



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jorge Luis Calderón Bacón
 Título del ejercicio: tesis
 Título de la entrega: Diseño y construcción de un colector cilíndrico parabólico p...
 Nombre del archivo: INFORME_FINAL_1_-_DOCT_Reparado.docx
 Tamaño del archivo: 7.53M
 Total páginas: 91
 Total de palabras: 15,535
 Total de caracteres: 86,680
 Fecha de entrega: 04-Jul.-2023 01:39p. m. (UTC-0500)
 Identificador de la entrega: 2126510797

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
 ESCUELA DE POSGRADO
 DOCTORADO EN INGENIERÍA MECÁNICA ESTRUCTURAL
 CON MENCIÓN EN ENERGÍA



TESIS

"Diseño y construcción de un colector cilíndrico parabólico para
 uso de la energía solar en el calentamiento de agua"

Investigador:
 Mag. Cristian Bacón, Jorge Luis

Autor:
 Dr. Oscar William, Neciosup Obando

Lambayeque, 04 de junio de 2023

Dr. Oscar William, Neciosup Obando
 Asesor