

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-
Eléctrica y Mecatrónica**



**“EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE
COLECTORES SOLARES DE TANQUE INTEGRADO UTILIZANDO
NANOTUBOS DE CARBONO EN EL FLUIDO BASE”**

Tesis presentada por el Bachiller:

Hinojosa Tecsi, Christopher Renato

para optar el Título Profesional de

Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor:

Dr. Gordillo Andia, Carlos Alberto

Arequipa - Perú

2021

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 30 de Enero del 2021

Dictamen: 002224-C-EPIMMEM-2021

Visto el borrador del expediente 002224, presentado por:

2013800171 - HINOJOSA TECSI CRISTOPHER RENATO

Titulado:

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE COLECTORES SOLARES DE TANQUE
INTEGRADO UTILIZANDO NANOTUBOS DE CARBONO EN EL FLUIDO BASE**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

1530 - FERNANDEZ BARRIGA CAMILO GRIMALDO
DICTAMINADOR



1895 - CARPIO RIVERA MARCO ANTONIO
DICTAMINADOR



3040 - VALDEZ LOAIZA JUAN CARLOS
DICTAMINADOR



Dedicatoria

A Dios.

Al Señor de la Divina Misericordia.

A Santa María

A mi querida madre Miriam, por todo tu apoyo y motivación incondicional.

A mi padre Renato, por apoyarme siempre.

A mi abuelo, por todos los consejos.

A mis tíos, un gran soporte en mi formación.

A mis primos, por tratar de ser un ejemplo para ellos.

A mis amigos, que siempre estuvieron ahí.



Agradecimientos

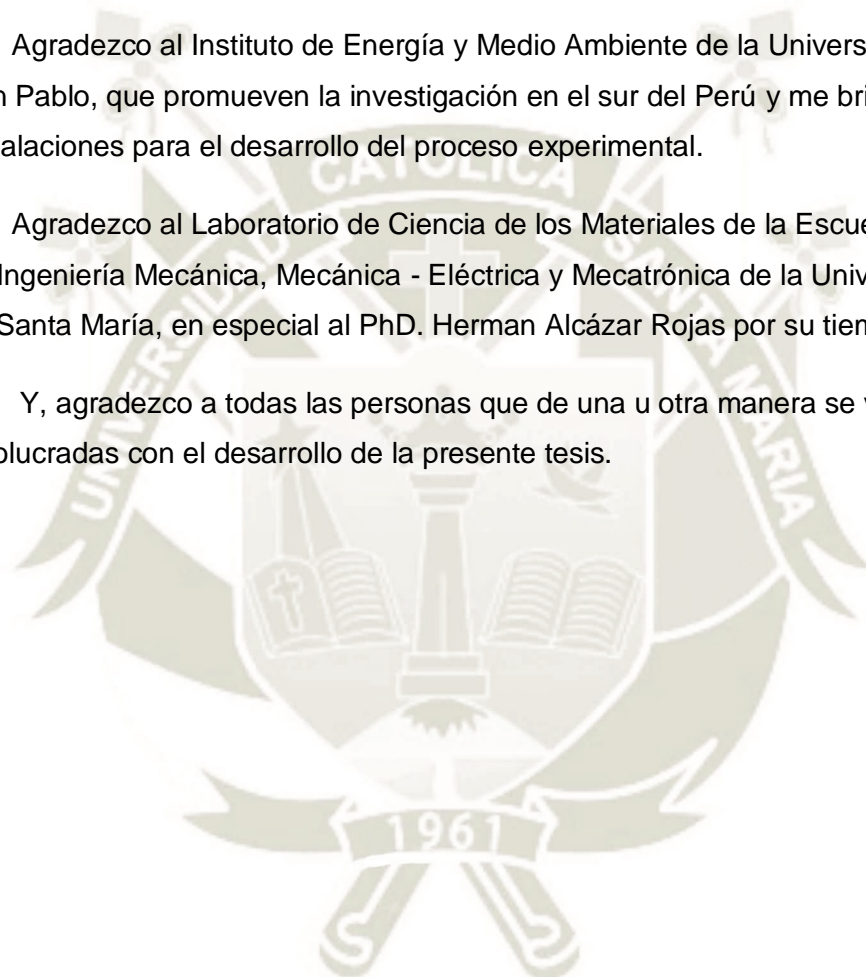
Agradezco al PhD. Juan Carlos Valdez Loaiza por todo el apoyo, conocimientos y paciencia prestados durante la realización de la tesis.

Agradezco al Dr. Carlos Alberto Gordillo India, por el tiempo y conocimientos durante la investigación.

Agradezco al Instituto de Energía y Medio Ambiente de la Universidad Católica San Pablo, que promueven la investigación en el sur del Perú y me brindaron sus instalaciones para el desarrollo del proceso experimental.

Agradezco al Laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica - Eléctrica y Mecatrónica de la Universidad Católica de Santa María, en especial al PhD. Herman Alcázar Rojas por su tiempo.

Y, agradezco a todas las personas que de una u otra manera se vieron involucradas con el desarrollo de la presente tesis.



Resumen

Dentro de las distintas aplicaciones de la energía solar, su uso para el calentamiento de agua en procesos industriales y comerciales, permite un ahorro energético. Los avances de la tecnología en los colectores solares para el calentamiento de agua han progresado en los últimos años buscando su mejor optimización desde colectores planos convencionales, de tubos en vacío o colectores termo acumulativos (colector con tanque integrado).

La integración de esta tecnología con nanofluidos, que vienen siendo investigados en la actualidad en procesos de transferencia de calor, demostrando poseer mejores propiedades termodinámicas y de transferencia de calor comparados con los fluidos convencionales.

Aprovechando estas características, se llevó a cabo este procedimiento experimental en un colector solar con tanque integrado, el cual fue instrumentado completamente (Termopares, Manómetros y un Solarímetro), así como un circuito de alimentación con elementos de control de flujo para poder evaluar si hay un incremento en la eficiencia.

Se realizaron dos pruebas en los meses de agosto y diciembre respectivamente, de los cuales se escogió los días que tengan características meteorológicas semejantes, para luego poder analizar los datos obtenidos y determinar la eficiencia del sistema en las dos situaciones. Para la segunda prueba se realizó un tratamiento químico a las nanopartículas (NTC), que pasaron por una limpieza con una mezcla de ácidos y un proceso de sonicación (Ultrasonido). Todos estos pasos permitieron obtener la mezcla que se agregó al fluido de trabajo.

Como resultado del procedimiento experimental, se obtuvo un Nanofluido (Agua + Propilenglicol + NTC) en una concentración de 0.1% en volumen, que al ser utilizado en la prueba se obtiene un incremento de 5% de la eficiencia del equipo.

Palabras Claves: Nanopartículas, Colector Solar de Tanque Integrado, Energía Solar, Nanotubos de Carbono, Eficiencia.

Abstract

Within the different applications of solar energy, its use for heating water in industrial and commercial processes, allows energy savings. Advances in technology in solar collectors for water heating have progressed in recent years seeking their best optimization from conventional flat collectors, vacuum tubes or thermo-accumulative collectors (collector with integrated tank).

The integration of this technology with nanofluids, which are currently being investigated in heat transfer processes, proving to have better thermodynamic and heat transfer properties compared to conventional fluids.

Taking advantage of these characteristics, this experimental procedure was carried out in a solar collector with an integrated tank, which was fully instrumented (Thermocouples, Manometers and a Solarimeter), as well as a power circuit with flow control elements to be able to evaluate if there is an increase in efficiency.

Two tests were carried out in the months of August and December respectively, of which the days with similar meteorological characteristics were chosen, in order to then be able to analyze the data obtained and determine the efficiency of the system in the two situations. For the second test, a chemical treatment was carried out on the nanoparticles (NTC), which underwent cleaning with a mixture of acids and a sonication process (Ultrasound). All these steps allowed to obtain the mixture that was added to the working fluid.

As a result of the experimental procedure, a Nanofluid (Water + Propylene Glycol + NTC) was obtained in a concentration of 0.1% in volume, which when used in the test, an increase of 5% in the efficiency of the equipment was obtained.

Key Words: Nanoparticles, Integrated Tank Solar Collector, Solar Energy, Carbon Nanotubes, Efficiency.

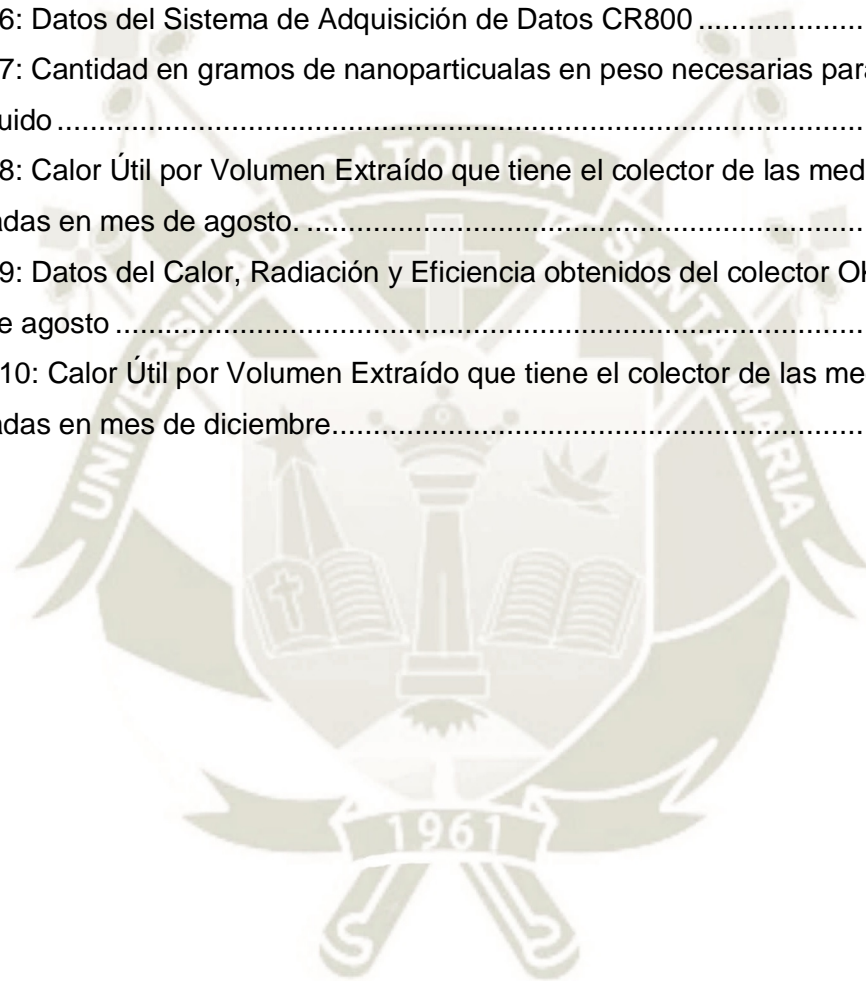
Índice

Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
CAPITULO I: MARCO METODOLÓGICO	1
1 Descripción del Problema	1
1.2. Hipótesis	1
1.3. Objetivos	1
1.4. Alcances	2
1.5. Justificación	2
1.6. Estado del Arte	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
2. Nanotubos de Carbono	6
2.1 Propiedades de los Nanotubos de Carbono	7
2.2 Preparación de Nanofluidos	8
2.3 Colector Solar de Tanque Integrado	9
2.3.1 Historia del colector solar de tanque integrado	10
2.4 Aplicaciones de los Nanotubos de Carbono	11
2.4.1 Energía	11
2.4.2 Sensores y Sondas	11
2.4.3 Refrigeración	12
2.5 Nanotubos de carbono en colectores solares	13
CAPITULO III: APARATO Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	14
3 Aparato experimental	14
3.1 Colector Solar de Tanque Integrado OKSOL-150	16
3.2 Componentes y Características del equipo OKSOL-150	18
3.3 Principio de Funcionamiento del colector solar OKSOL-150	20
3.4 Sección de Alimentación de Agua	21

3.5	Sección de Adquisición y Procesamiento de Datos	23
3.6	Instalación completa del Colector y los equipos	26
3.6.1	Instalación de termopares en el colector	26
3.6.2	Ubicación e instalación del colector solar	26
3.7	Procedimiento Experimental	29
3.7.1	Metodología de operación del colector solar integrado	29
3.7.2	Desarrollo del nanofluido con tratamiento físico y químico	32
3.8	Procedimiento de ensayo	38
3.8.1	Acondicionamiento previo del sistema de ensayo	38
3.8.2	Prueba con Agua y Propilenglicol como fluido caloportador	38
3.8.3	Prueba con Agua y Propilenglicol con 0.1% de concentración de Nanotubos de Carbono como fluido caloportador	40
3.8.4	Estudio de las temperaturas al interior del tanque de almacenamiento del OKSOL-150	40
3.9	Análisis del Cálculo de Incertidumbre	41
CAPITULO IV: RESULTADOS		42
4.	Análisis y comparación de resultados	42
4.1	Rendimiento diario del sistema con 50% de agua y 50% propilenglicol	42
4.2	Rendimiento diario del sistema con 50% de agua y 50% propilenglicol con Nanotubos de Carbono al 0.1%	51
CAPITULO V: CONCLUSIONES		61
REFERENCIAS		62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Perspectiva de la investigación del uso de nanofluidos como medio de transporte y absorción de calor. (V. Kumar et al., 2015)	5
Tabla 2: Datos Técnicos del equipo OKSOL-150	17
Tabla 3: Datos de placa de la bomba Humboldt 0.6HP	22
Tabla 4: Datos del solarímetro CMP6	23
Tabla 5: Datos del solarímetro CMP6	24
Tabla 6: Datos del Sistema de Adquisición de Datos CR800	25
Tabla 7: Cantidad en gramos de nanopartículas en peso necesarias para preparar el nanofluido	34
Tabla 8: Calor Útil por Volumen Extraído que tiene el colector de las mediciones realizadas en mes de agosto.	49
Tabla 9: Datos del Calor, Radiación y Eficiencia obtenidos del colector OKSOL 150 el mes de agosto	50
Tabla 10: Calor Útil por Volumen Extraído que tiene el colector de las mediciones realizadas en mes de diciembre	58

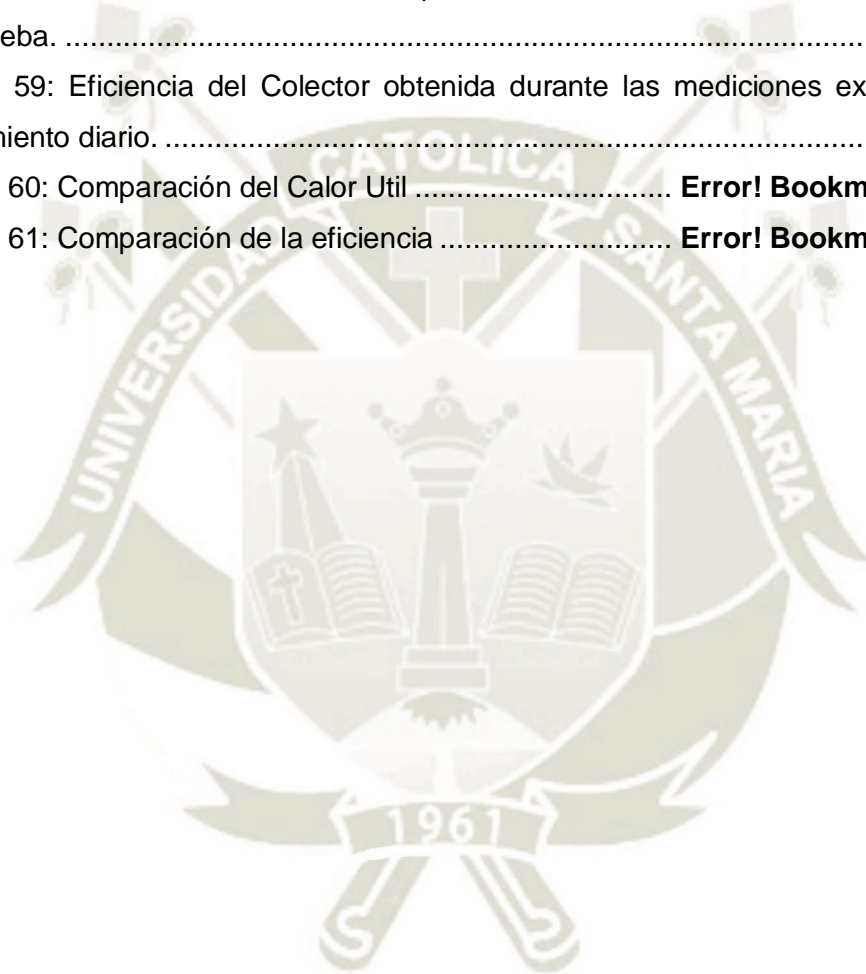


ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Categorización de la utilización de la energía solar(Reddy et al., 2016).....	3
Figura 2: Enrollamiento Virtual de una lámina de grafito para generar un nanotubo de pared simple. (Santana, 2013).....	6
Figura 3: Representación Virtual de un nanotubo de carbono de pared múltiple. (Santana, 2013)	6
Figura 4: Tendencia de la investigación de nanofluidos y nanofluidos con NCT. (Yazid, Sidik, & Yahya, 2017)	7
Figura 5: Diagrama Esquemático de tratamiento químico usando ácido sulfúrico/nítrico. (Yazid et al., 2017).....	8
Figura 6:Procesos de transferencia de calor en un sistema integrado(Smyth et al., 2006) .	9
Figura 7: Anuncio del calentador de agua Climax, 1892(Smyth et al., 2006).....	10
Figura 8:Ejemplo de microtubo de calor para aplicaciones electrónicas. (Colangelo et al., 2017)	12
Figura 9: Nanofluido en un Sistema de Refrigeración (Villalba, 2018).....	13
Figura 10: Esquema del Aparato Experimental. Fuente: Propia Error! Bookmark not defined.	
Figura 11: Equipo OKSOL-150 (Orkli, 2016).....	16
Figura 12: Cubierta del equipo OKSOL-150 (Orkli, 2012)	18
Figura13: Interacumulador del equipo OKSOL-150 (Orkli, 2012)	18
Figura 14: Disipador estático del equipo OKSOL-150 (Orkli, 2012).....	18
Figura 15: Panel Fotovoltaico del equipo OKSOL-150. (Orkli, 2012).....	19
Figura 16: Bomba de circuito primario del equipo OKSOL-150 (Orkli, 2012).....	19
Figura 17: Válvula de tres vías del equipo OKSOL-150 (Orkli, 2012).....	19
Figura 18: Incidencia de la radiación solar en la cubierta del colector. Fuente: Propia.....	20
Figura 19: Incidencia de la radiación solar en el panel fotovoltaico. Fuente: Propia	20
Figura 20: Transferencia de calor del fluido caloportador al depósito.....	21
Figura 21: Tanque de agua marca Rotoplas. Fuente: Propia	21
Figura 22: Bomba Hidroneumática Humboldt. Fuente: Propia	22
Figura 23: Cable para termopar tipo K	23
Figura 24: Solarímetro CMP 6. (Kipp & Zonen, 2010)	24
Figura 25: Adquisidor de Datos CR800 Datalogger. Fuente: Propia	25
Figura 26: Instalación de los termopares en el depósito del colector Fuente: Propia	26
Figura 27: Ubicación donde se instaladora el colector para el procedimiento experimental. Fuente Propia	27
Figura 28: Colector solar instalado (Vista Frontal) Fuente: Propia	28

Figura 29: Colector solar instalado (Vista Lateral) Fuente: Propia.....	28
Figura 30: Conexión de los termopares a los puertos del Adquisidor de Datos CR800. Fuente: Propia	30
Figura 31: Puesta en marcha del colector para el procedimiento experimental Fuente: Propia	31
Figura 32: Localización para verificar el almacenaje continuo de datos y las condiciones del colector. Fuente: Propia.....	31
Figura 33: Protección del colector para la exposición al ambiente. Fuente: Propia	32
Figura 34: Mezcla de nanotubos de carbono con agua destilada usando un agitador magnético. Fuente: Propia.....	33
Figura 35: Mezcla de nanotubos de carbono usando un agitador magnético pasado 12 horas en reposo. Fuente: Propia.....	33
Figura 36: Nanotubos de Carbono para preparar nanofluido con tratamiento químico y físico a 0.1% de concentración en volumen para 4 litros. Fuente: Propia.....	34
Figura 37y 38: Equipo de Ultrasonido “Ultrasonic Cell Crusher Noise Isolation Chamber”. Fuente: Propia	35
Figura 39: Mezcla de Nanotubos ingresados en el Secador Electrico Binder. Fuente: Propia	36
Figura 40: Nanotubos de Carbono en agua con propilenglicol al 50/50 en el equipo de ultrasonido Fuente: Propia.....	36
Figura 41: Parámetros para el equipo de ultrasonido. Fuente: Propia.....	37
Figura 42: Nanofluido obtenido para ser aplicado en el colector. Fuente: Propia	37
Figura 43: Distribución de los termopares dentro del colector. Fuente: Propia.....	41
Figura 44: Irradiancia sobre la ciudad de Arequipa en agosto el día 22, 23 y 26.....	42
Figura 45: Incertidumbre de Irradiancia sobre la ciudad de Arequipa en agosto el día 22, 23 y 26.....	43
Figura 46: Temperatura de los termopares distribuidos en el interior del colector el 22 de agosto.....	44
Figura 47: Temperatura de los termopares distribuidos en el interior del colector el 23 de agosto.....	45
Figura 48: Temperatura de los termopares distribuidos en el interior del colector el 26 de agosto.....	46
Figura 49: Calor Útil por Volumen Extraído del colector durante los días de prueba.	47
Figura 50: Incertidumbre Calor Útil por Volumen Extraído del colector durante los días de prueba.	47
Figura 51: Eficiencia del Colector obtenida durante las mediciones experimentales del rendimiento diario.	50

Figura 52: Irradiancia sobre la ciudad de Arequipa en diciembre el día 12, 16 y 17.	51
Figura 53: Incertidumbre de Irradiancia sobre la ciudad de Arequipa en diciembre el día 12, 16 y 17.....	52
Figura 54: Temperatura de los termopares distribuidos en el colector el 12 de diciembre	53
Figura 55: Temperatura de los termopares distribuidos en el colector el 16 de diciembre	54
Figura 56: Temperatura de los termopares distribuidos en el colector el 17 de diciembre	55
Figura 57: Calor Útil por Volumen Extraído del colector durante los días de prueba.	56
Figura 58: Incertidumbre de Calor Útil por Volumen Extraído del colector durante los días de prueba.	56
Figura 59: Eficiencia del Colector obtenida durante las mediciones experimentales del rendimiento diario.	59
Figura 60: Comparación del Calor Util	Error! Bookmark not defined.
Figura 61: Comparación de la eficiencia	Error! Bookmark not defined.



CAPITULO I: MARCO METODOLÓGICO

1 Descripción del Problema

1.1. Definición del Problema

Hoy en día el agua caliente es utilizada para realizar muchas actividades de la vida diaria, lo cual implica el incremento del consumo energético para una familia o una empresa. El calentamiento de agua mediante el uso de energía solar, más que una alternativa ecológica, es una tecnología económica atractiva.

Los colectores solares usando agua como fluido base tienen limitaciones para aumentar la eficiencia bajo condiciones de operación. Una manera de superar estas deficiencias en los colectores solares consiste en la aplicación de cambios estructurales en el colector solar y el utilizar nanofluido como fluido de trabajo (Kim, Kim, & Cho, 2017).

En la actualidad debido a los estudios realizados con los nanofluidos se conoce los beneficios de un uso en diferentes procesos, al tener una mejor conductividad térmica y mejor transferencia de calor. Se llevan realizando estudios en colectores solares utilizando los nanofluidos como fluidos de transferencia de calor. Debido a esto que se busca realizar un análisis del uso de nanotubos de carbono con una base (Propilenglicol y agua) en un colector solar para poder analizar parámetros térmicos.

1.2. Hipótesis

Mediante las pruebas a realizar en el colector solar de tanque integrado, se reemplazará el fluido de transferencia de calor convencional por la mezcla de dos diferentes bases (Propilenglicol y agua) con Nanotubos de Carbono para analizar los parámetros térmicos del funcionamiento del colector. Con este estudio se pretende demostrar los beneficios del uso de los nanofluidos en aplicaciones térmicas para mejorar la eficiencia térmica del colector.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar el aumento de los parámetros térmicos de un colector solar con tanque integrado utilizando nanofluidos como fluidos de transferencia de calor.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Comparar los distintos valores térmicos obtenidos durante las pruebas realizadas en el colector con los distintos fluidos de transferencia de calor.
- Elaborar nanofluidos a diferentes concentraciones que usara el colector solar con tanque integrado.
- Realizar la instrumentación requerida para la adquisición de datos del colector solar con tanque integrado.
- Registrar los diferentes parámetros como temperatura, irradiación, porcentaje de nanopartículas en un fluido base y su influencia en la eficiencia del colector solar integrado.

1.4. Alcances

La presente tesis, abarca el análisis experimental del uso de nanotubos de carbono en una base líquida como fluido de transferencia de calor en un colector solar de tanque integrado, para evaluar la ventaja del uso de nanopartículas en diferentes concentraciones como fluido de transferencia de calor, evaluando su comportamiento térmico.

1.5. Justificación

Las energías renovables pueden ser consideradas como la solución a la creciente demanda por la escasez de los combustibles convencionales. Entre los varios tipos de energías renovables, la energía solar es la más popular (Kim et al., 2017).

La energía solar es la energía renovable más prometedora y abundante, que muestra un gran potencial para abastecer el consumo de energía como complemento (por ahora) a los combustibles fósiles que tienen un impacto peligroso en el medio ambiente. Para aprovechar la energía se han construido colectores solares para transformar la radiación solar para ser utilizada como energía térmica o energía fotovoltaica. La energía térmica es muy útil en múltiples muchos procesos térmicos y de generación de electricidad por medio de un ciclo de potencia Rankine (Reddy, Kamnapure, & Srivastava, 2016). En la Figura 1 podemos ver las distintas categorías para la utilización de la energía solar de acuerdo al tipo de conversión.

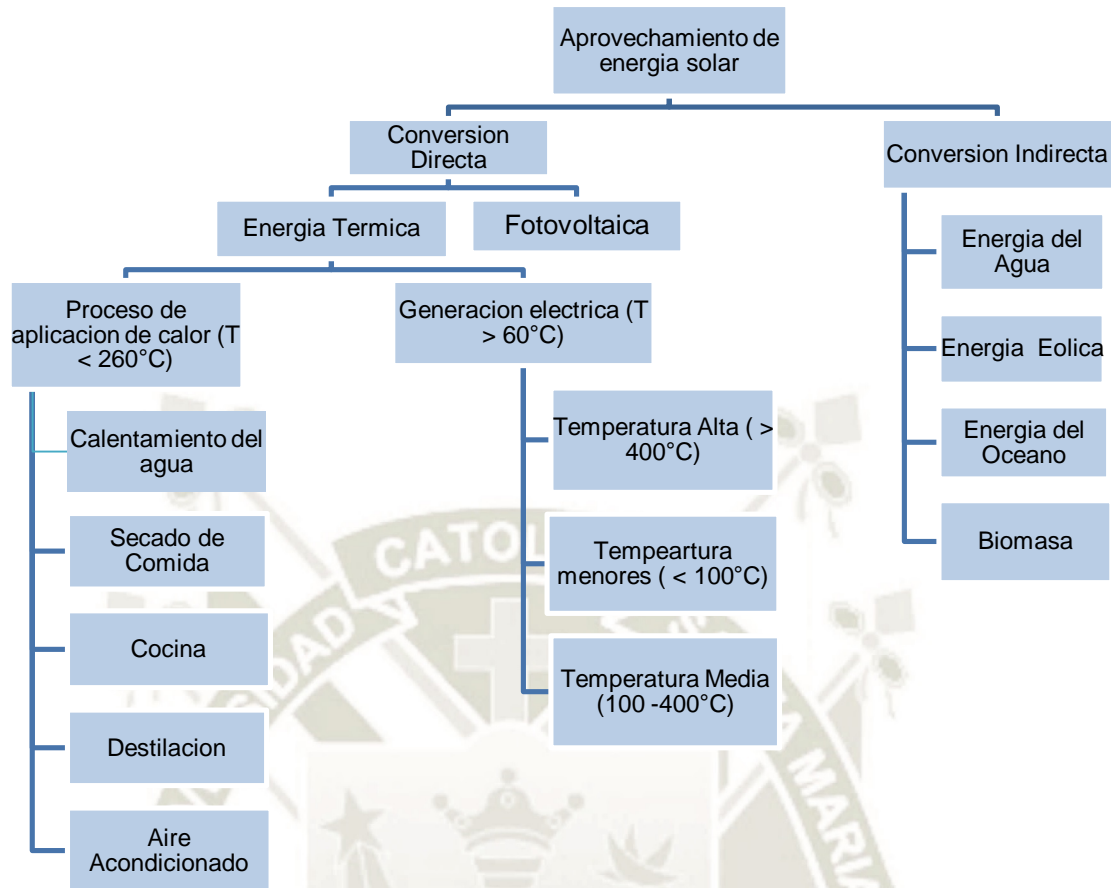


Figura 1: Categorización de la utilización de la energía solar Fuente: (Reddy et al., 2016)

Los nanofluidos son una nueva generación de fluidos para diversas aplicaciones industriales y automotrices gracias a su excelente rendimiento térmico. Estos se presentan en una mezcla sólido-líquido o suspensiones producidas por dispersión metálicas y no metálicas en líquidos. Estas partículas muestran una transferencia de calor mejorada debido a la combinación de convección y conducción (Vishalkumar G & Panchal, 2015).

Ante esto, podemos mejorar las propiedades del fluido caloportador base, mediante la adición de nanopartículas que permitan incrementar entre otras cosas la conductividad térmica. Así se podrá mejorar la transferencia de calor y poder proponer nuevas investigaciones en otros tipos de colectores y nanofluidos, con la finalidad de alcanzar mejores condiciones térmicas.

1.6. Estado del Arte

El aumento de la transferencia en los colectores solares es un factor clave para el ahorro de energía, diseños más compactos y diferentes temperaturas de funcionamiento. El inicio del uso de la energía solar y la tecnología de los nanofluidos fueron desarrollados por primera vez por Choi del Laboratorio Nacional Argonne de USA en 1995. Después, los estudios de (Lee, Choi, Li, & Eastman, 1999) y (Kebllinski, 2002) demostraron el aumento de la conductividad de térmica en condiciones macroscópicas. Desde entonces, se ha realizado estudios sobre las propiedades térmicas, viscosidad y rendimiento de la transferencia de calor. Se ha encontrado que los nanofluidos metálicos poseen propiedades termo físicas mejoradas como: Conductividad Térmica, Viscosidad y Coeficientes de transferencia de calor en comparación con los fluidos base convencionales como el aceite o agua (Nagarajan, Subramani, Suyambazhahan, & Sathyamurthy, 2014).

El uso reciente de los nanofluidos se propone como una nueva estrategia en los procesos de transferencia de calor. Las investigaciones recientes sobre nanofluidos muestran su importancia en el aumento de la conductividad térmica en comparación con los fluidos convencionales. Para la aplicación de nanofluidos se debe de considerar las propiedades del fluido base y de las nanopartículas disueltas en dicho fluido base. Entre las propiedades de los nanofluidos se debe considerar las propiedades del fluido base y de las nanopartículas disueltas en el fluido base. Teniendo en cuenta que los nanofluidos tienen diferentes componentes y propiedades termofísicas, estos son puntos claves para su aplicación en la ingeniería en general. Por ende, basándonos en diferentes nanopartículas y fluidos bases se puede lograr diferentes combinaciones aplicables para diferentes parámetros (Naderi, 2016).

La investigación que realizaron (Elsheikh, Sharshir, Mostafa, Essa, & Ahmed Ali, 2018) sobre el uso de nanofluidos en energía solar, con un enfoque en colectores solares, consistió en reemplazar el agua por nanofluidos como fluidos de trabajo. Para colectores solares de absorción indirecta, una forma de incrementar la eficiencia es mejorar la absorción de la radiación solar en la cubierta de los colectores, agregando nanopartículas en esta, permitiendo que estas absorban el calor y lo transfieran con alta velocidad al fluido base. Estos grupos de investigación reportaron una mejora en la eficiencia del colector de hasta un 5% usando el nanofluido como fluido de trabajo.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de diferentes estudios de la aplicación de nanofluidos en la transferencia de calor, esta tabla fue tomada y modificada de (V. Kumar, Tiwari, & Ghosh, 2015).

Tabla 1: Perspectiva de la investigación del uso de nanofluidos como medio de transporte y absorción de calor. (V. Kumar et al., 2015)

N°	REFERENCIA	TIPO DE NANOPARTICULA	AÑO DE PUBLICACIÓN	TAMAÑO (NM)	FLUIDO BASE	APLICACIONES	HALLAZGOS
1	H. Tyagi	Al	2009	10 -20	Agua	Colector solar de absorción directa	10% más de eficiencia absoluta para 0.8% de fracción de volumen del colector plano convencional
2	T.P. Otanicar	NTC, Grafeno y Plata	2011	Grafito:30 NTC:6-20 Plata: 20-40	Agua	Colectores solares de absorción directa	Aumento de la eficiencia de la energía solar: 5%
3	R.A. Taylor	Cualquier Nanoparticula	2011	10	Agua, aceite, sal fundida	Modelado y experimental para estudiar comercial aplicación de nanofluidos (10 - 100MW)	10% de aumento en la eficiencia de colector solar de alto flujo es alcanzable en muy pequeño concentración de nanopartículas.
4	A. Lenert	Cu	2012	28	VP-1 Therminol	Colectores solares de absorción directa	Con aumento de la altura de los nanofluidos y la eficiencia de la insolencia solar del receptor aumenta. Se alcanza un 35% para H > 5cm
5	Quimbo	Cu	2013	30	Agua	Análisis de transmitancia del nanofluido	Los resultados experimentales muestran que transmitancia de Cu-H2O nanofluido es mucho menos que la del agua desionizada y también disminuye al aumentar tamaño de partícula.
6	S. Parvin	Cu	2014	No entregado	Agua	Colector Absorción directa	Estudio de simulación, colector la eficiencia aumenta alrededor de dos pliegues con aumento de Reynolds no de 200 a 1000 en volumen fracción 0.03
7	E.P. Bandarra Filho	Ag	2014	10 - 80	Agua	Colectores solares de absorción directa	SAR alcanzó 0.6 kw/g para 6.5ppm y disminuye a 0.01 kw/g a 650 ppm, probablemente debido a partículas mejoradas para interacción de partículas
8	L. Zhang	Nanoparticula de Ni recubierta de carbón	2014	40	Líquido Iónico (HMIM)	Estudio de la capacidad de absorción de un colector de absorción solar directa	La fracción de volumen varió de 10 ppm a 40 ppm, la absorción de radiación alcanza hasta el 100% para 1 cm de penetración profunda de la radiación solar.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2. Nanotubos de Carbono

Los nanotubos de carbono de pared simple (SWCNT) están conformados por átomos de carbono este material que están dispuestos en este material en forma hexagonal cilíndrica. Su estructura será la misma que la de una lámina de grafito enrollada sobre sí. (Rivas Martínez, Ganzer, & Cosme Huertas, 2010)

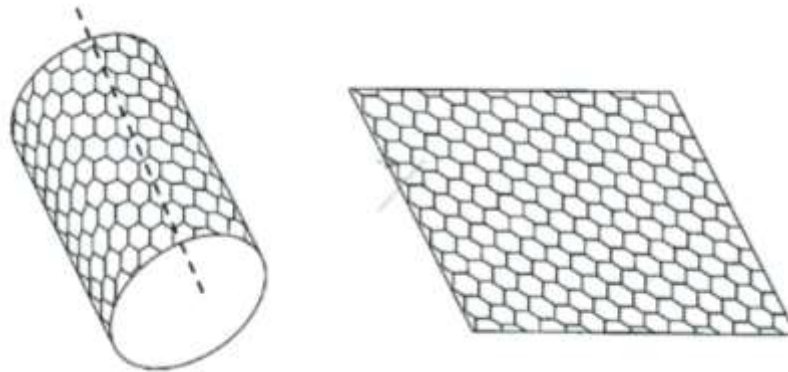


Figura 2: Enrollamiento Virtual de una lámina de grafito para generar un nanotubo de pared simple. (Santana, 2013)

Por otro lado, los nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT) tienen la estructura similar a varios nanotubos de carbono de pared simple centrados con diferentes diámetros. (Rivas Martínez et al., 2010)

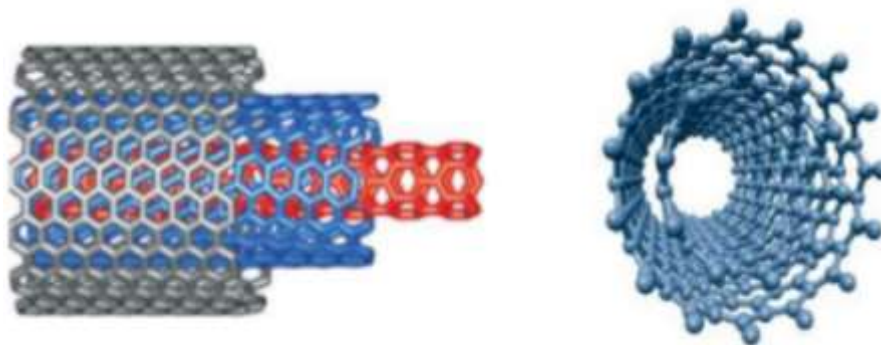


Figura 3: Representación Virtual de un nanotubo de carbono de pared múltiple. (Santana, 2013)

En la Figura 4, podemos ver la tendencia de la última década, a efectuar estudios de investigación y publicación de artículos de investigación sobre nanofluidos y nanofluidos con nanotubos de carbono.

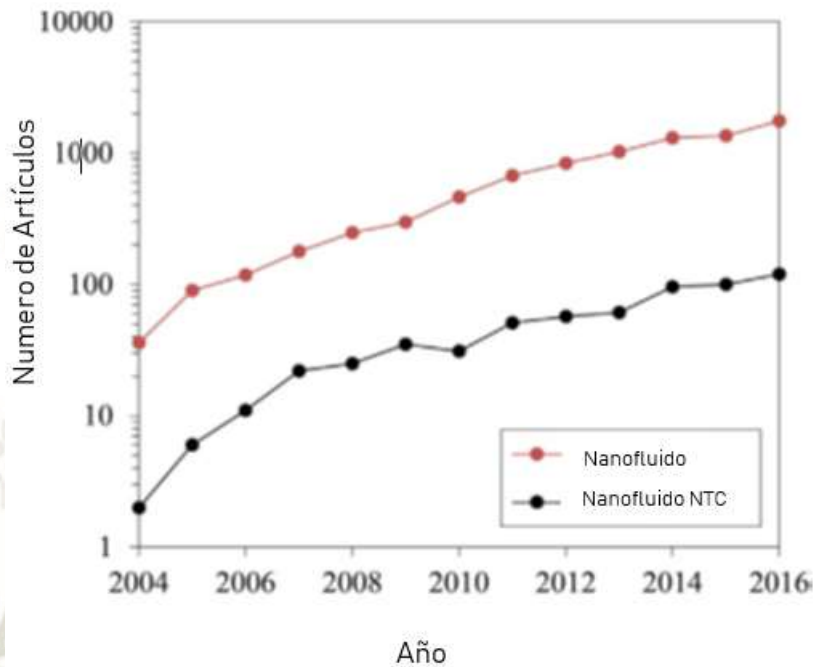


Figura 4: Tendencia de la investigación de nanofluidos y nanofluidos con NCT. (Yazid, Sidik, & Yahya, 2017)

2.1 Propiedades de los Nanotubos de Carbono

Cuando fueron descubiertos en 1991 por Lijima (Sumio Lijima, 1991), los Nanotubos de Carbono tienen un papel importante en numerosas aplicaciones tecnológicas. Por simulaciones y estudios experimentales, la conductividad térmica de los NTC de pared simple (SWCNT) y de pared múltiple (MWCNT) alcanzaron niveles elevados mayores de $6000 \text{ W/(m}^*\text{K)}$ y $3000 \text{ W/(m}^*\text{K)}$ respectivamente (Ji, Feng, Qin, & Feng, 2016).

Las propiedades térmicas que incluyen estos materiales son el calor específico, la conductividad térmica, expansión térmica y energía termoeléctrica. A temperaturas altas, la conductividad térmica de los NTC es similar al grafeno (Sun, Meany, & Wang, 2014).

También varias investigaciones basadas en estudios de NTC en una base de etilenglicol, muestra que la conductividad térmica de este nanofluido aumenta al incrementar el volumen de NTC. El uso de nanotubos de pared múltiple

funcionalizado (f-MWCNT), incrementa la conductividad térmica del etilenglicol hasta un 40% con una concentración de 0.03% de volumen. Esta mejora se debe a una dispersión homogénea de NTC en el fluido base y al formarse una fase hidrófila (Murshed & Nieto de Castro, 2016).

2.2 Preparación de Nanofluidos

La preparación de nanofluidos se puede realizar a través de dos métodos:

- El método de un paso.
- El método de dos pasos.

El método de un solo paso utiliza la técnica de deposición física de vapor o un método químico líquido. Este método evita los procesos de secado, almacenamiento, transporte y dispersión de nanopartículas, lo que permite que el fluido sea más estable y se evita la aglomeración. La desventaja es que este método solo se aplica a los fluidos de baja presión de vapor, limitando su aplicación. (Li, Zhou, Tung, Schneider, & Xi, 2009)

Por otro lado, el método de dos pasos es el método más utilizado para preparar nanofluidos. Utilizando este método se producen en primer lugar como polvo seco al utilizar métodos químicos o físicos. Posteriormente el material nanométrico se dispersa en un fluido base por medio de una agitación mecánica, homogeneización, agitación ultrasónica, etc. Este método es más económico para producir nanofluidos a una gran escala. Para mejorar la estabilidad de las nanopartículas se le agregan surfactantes o tensioactivos, pero hay dificultad en su uso en aplicaciones a alta temperatura. (Yu & Xie, 2012)

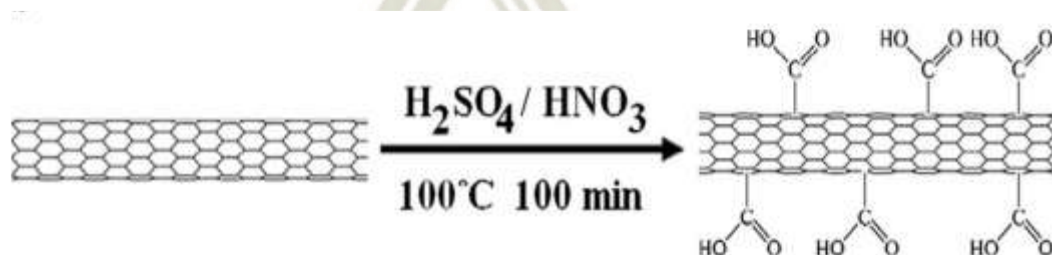


Figura 5: Diagrama Esquemático de tratamiento químico usando ácido sulfúrico/nítrico. (Yazid et al., 2017)

2.3 Colector Solar de Tanque Integrado

Estos colectores son desarrollados a partir de los primeros sistemas compuestos por un simple tanque negro colocado al sol. Debido al funcionamiento del colector, este sufre pérdidas sustanciales de calor al ambiente especialmente durante la noche. Para que puedan ser económicamente factibles, se han incorporado nuevas tecnologías para maximizar la captación de radiación solar y minimizar las pérdidas térmicas. El diseño del recipiente ha incluido un sistema de acristalamiento, métodos de aislamiento, configuraciones del reflector y materiales de cambio de fase. (Smyth, Eames, & Norton, 2006). En la Figura 6 se puede observar todos los procesos que ocurren en un sistema de calentamiento solar integrado.

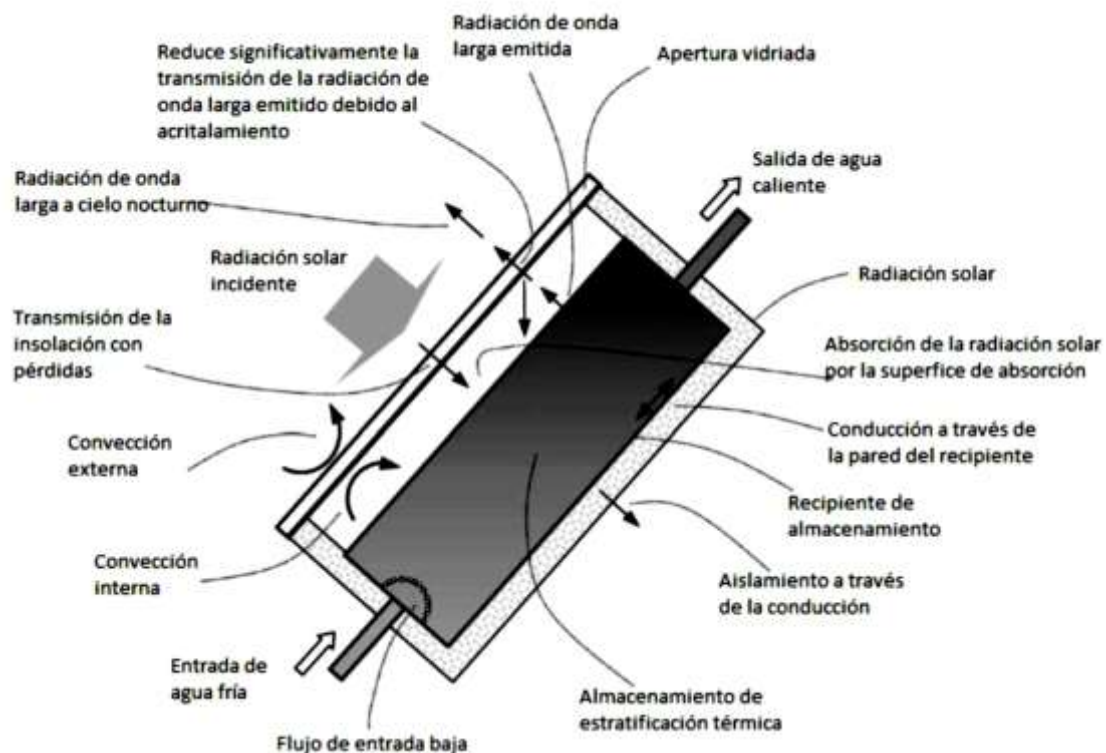


Figura 6: Procesos de transferencia de calor en un sistema integrado (Smyth et al., 2006)

2.3.1 Historia del colector solar de tanque integrado

El primer colector solar con tanque integrado se realizó a finales del siglo XVIII en el suroeste de los Estados Unidos, usados en algunas granjas y ranchos para calentamiento. En 1891, Clarence M. Kemp patentó el primer sistema fabricado llamado "Climax" como un colector solar de tanque integrado (En la Figura 7 se puede ver un anuncio del sistema "Climax"). Este sistema podría calentar agua en el tanque hasta 38.8 °C. En 1895 dos empresarios de Pasadena compraron los derechos a Clarence para fabricarlos y venderlos en California.

Price Of No.1 Heater for
1892 Reduced to \$15 Net

Climax Solar-Water Heater

UTILIZING ONE OF NATURE'S GENEROUS FORCES

THE SUN'S HEAT { Stored up in Hot Water for Baths,
Domestic and other Purposes.

GIVES HOT WATER at all HOURS
OF THE DAY AND NIGHT.

NO DELAY.

FLOWS INSTANTLY.

NO CARE. NO WORRY.

ALWAYS CHARGED.
ALWAYS READY.

THE WATER AT TIMES
ALMST BOILS.

Price, No. 1, \$25.00

This Size will Supply sufficient
for 3 to 6 Baths.

CLARENCE M. KEMP, BALTIMORE, MD.

Figura 7: Anuncio del calentador de agua Climax, 1892 (Smyth et al., 2006)

Además, en 1902 Walker propuso instalar el tanque en el foco de un espejo de concentración. Este sistema modificado también tenía un calentador de gas de reserva. El primer ICSSWH (Colector solar con depósito integrado para calentamiento de agua) consistió en cuatro recipientes cilíndricos de forma ovalada en una superficie aplanada frente al sol. Haskell propuso la sustitución de cambiar los tanques tubulares por un tanque plano para maximizar el área de colección por unidad de volumen del tanque. En 1936 se estudió un tanque único expuesto en la Estación Experimental Agrícola en la Universidad de California en Estados Unidos. A principios de 1950 se comercializó en Japón un ICSSWH de tubo cerrado, mejorando el concepto mediante la introducción de recipientes cilíndricos, todavía utilizado en muchos diseños comerciales. (Singh, Lazarus, & Souliotis, 2016)

2.4 Aplicaciones de los Nanotubos de Carbono

2.4.1 Energía

En este campo se pueden dividir en dos grandes grupos: el almacenamiento y la conversión energética.

En el Almacenamiento se tiene el problema del tiempo de vida de las baterías y el consumo de energía para su recarga, resultando en una poca eficiencia. Para otras aplicaciones el peso y el volumen de los sistemas de almacenamiento son también de importancia. Los nanotubos de carbono pueden mejorar las propiedades como la superficie específica que garantiza sistemas más ligeros y propiedades mecánicas que lo hacen más resistentes. (Rivas Martínez et al., 2010)

En conversión energética los nanotubos de carbono aportan mejoras en pilas de combustibles, baterías de ion de litio y células solares. En el caso de las pilas de combustible, el electrocatalizador debe tener como característica ser un material poroso, elevada superficie específica y ser además un buen conductor; característica que cumplen los nanotubos de carbono. Las baterías de ion de Litio, la aplicación de los nanotubos de carbono se produce en el ánodo de la pila, al tener una elevada superficie específica que aumenta la reacción con el electrodo y a su elevada conductividad. Las células solares no tienen una eficiencia alta. Los nanotubos de carbono pueden ser usados como material semiconductor, generando corriente al ser excitado por rayos de luz o también pueden usarse para facilitar el tránsito de cargas fotogeneradas hasta la superficie del electrodo. (Rivas Martínez et al., 2010)

2.4.2 Sensores y Sondas

Las características de los nanotubos de carbono como su tamaño con mayor superficie; alta sensibilidad y buena reversibilidad a temperatura ambiente permiten que sean un sensor de molécula de gas, electrodos en reacciones electroquímicas y biosensores para la fácil inmovilización de proteínas. Se encontró que la resistividad eléctrica de los nanotubos de pared simple cambia sensiblemente al estar expuestos a NO_2 , NH_3 y O_2 . Al registrar este cambio, se pueden detectar la presencia de gases. Los resultados muestran que pueden funcionar a temperatura ambiente a temperaturas más altas. Esta aplicación de detección permite su uso en neumáticos para automóviles, monitoreando la presión de los neumáticos e informando al

conductor si puede soportar temperaturas extremas y vibraciones. (Paradise & Goswami, 2007)

Los nanofluidos también son aplicados en microtubos de calor para aplicaciones electrónicas (Figura 6). Los sistemas están compuestos por un evaporador, una mecha y un condensador. Por medio del evaporador entra el calor, vaporizando el fluido de trabajo. Un gradiente de presión fuerza el vapor hacia el condensador y la mecha sirve como bomba utilizando presión capilar para devolver el fluido del condensador al evaporador. (Colangelo, Favale, Milanese, de Risi, & Laforgia, 2017)

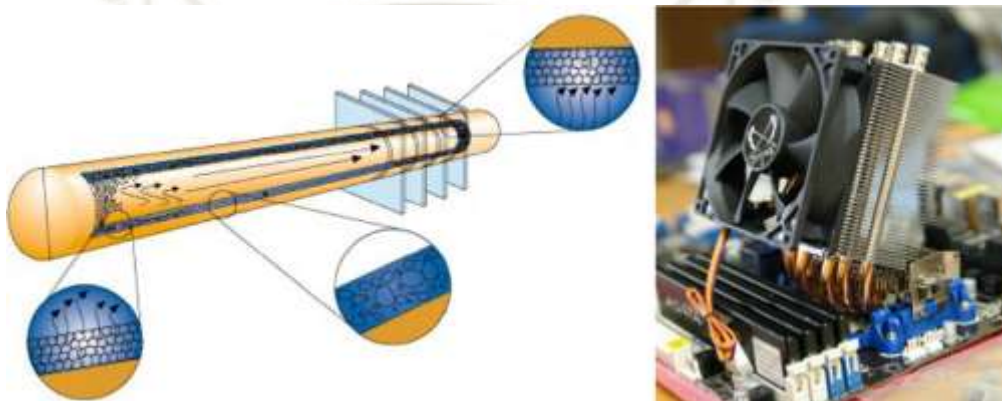


Figura 8: Ejemplo de microtubo de calor para aplicaciones electrónicas. (Colangelo et al., 2017)

2.4.3 Refrigeración

El uso de nanofluidos como refrigerantes mejora el coeficiente de transferencia de calor de ebullición y condensación; lo que nos proporciona sistemas de refrigeración más compactos y ligeros. También consume menos energía el compresor, lo que lo hace más eficiente. Las nanopartículas como aditivos también pueden aumentar la vida útil del compresor, al aumentar la solubilidad entre el refrigerante y el lubricante. (Bhattad, Sarkar, & Ghosh, 2018)

Muchos investigadores continúan trabajando de forma rigurosa en mejorar el rendimiento térmico del nanorefrigerante. La investigación de Kumar sobre el efecto de $Al_2O_3/R134a$ observó la reducción del 10.3% del consumo energético usando una concentración de nanopartículas del 0.2%. (D. S. Kumar & Elansezhian, 2012). Por otro lado, (Mahbubul, Saidur, & Amalina, 2013) mediante el uso de nanopartículas de Al_2O_3 se percató de una mejora de 15% en el coeficiente de performance. Últimamente (Soliman, Taher, Abdel-Rahman, 2015) investigadores nos informan

una disminución de 13.5% del consumo de energía y un incremento del 10.5% del rendimiento al usar Al_2O_3 en R134a.

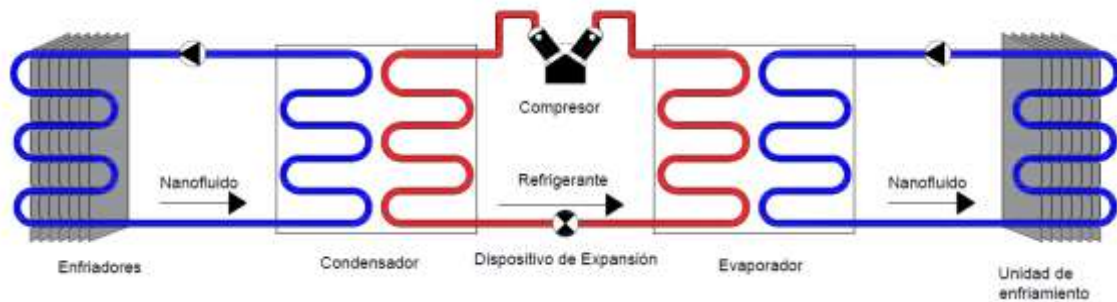


Figura 9: Nanofluido en un Sistema de Refrigeración.(Villalba, 2018)

2.5 Nanotubos de carbono en colectores solares

Muchas Investigaciones en fluidos a base de nanotubos de carbono, sugirieron que estos fluidos sean utilizados como medios de transporte de calor, aumentando la eficiencia de un colector solar convencional. En una de estas investigaciones se presentó una mejora de 5% en los colectores solares térmicos al utilizar el nanofluido como medio de absorción de calor. (Yousefi, Veisy, Shojaeizadeh, & Zinadini, 2012)

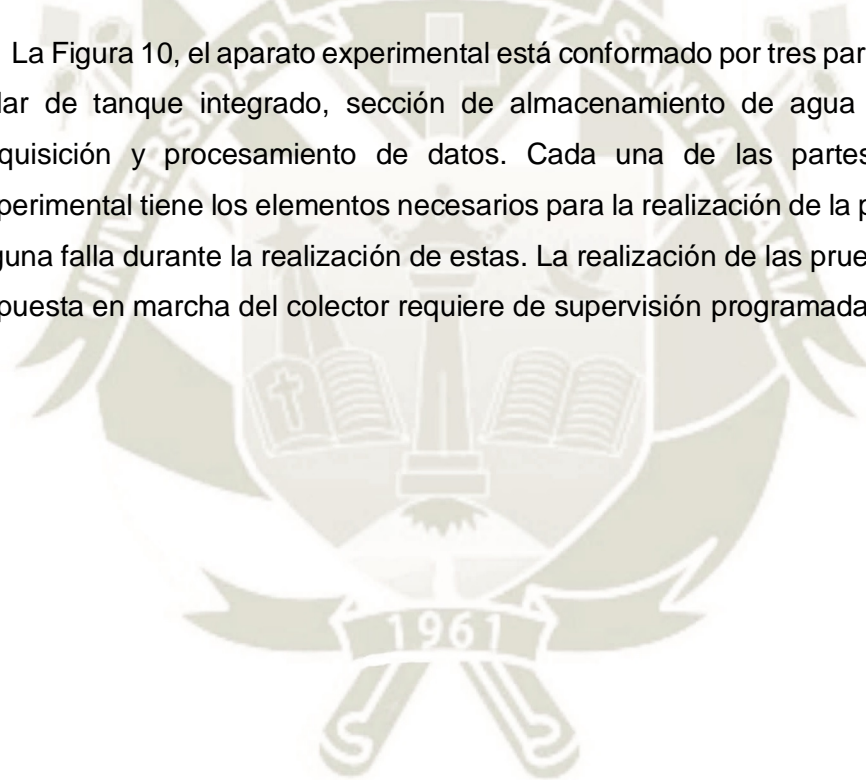
El valor del pH de los nanofluidos determina la fuerza repulsiva de las nanopartículas. Cuanto mayor sea su desviación de su punto isoeléctrico, mayor es la fuerza de repulsión entre las partículas. Usando ácido clorhídrico e hidróxido de sodio se ajusta varios valores de pH, obteniendo una mejora en la eficiencia del colector para muestras de nanofluidos que tengan un pH más distante al pH isoeléctrico. Otra investigación uso Triton X-100 (Tensoactivo) en la mezcla del nanofluido con NTC. El objetivo de esta investigación era evitar la sedimentación de las partículas mediante varias simulaciones en colectores solares de panel plano. En estas simulaciones se descubrió que la velocidad del flujo es el factor determinante para la sedimentación de las partículas. Autores que investigaron con nanofluidos en base de aceite con nanotubos de carbono encontraron que la eficiencia del colector mejora un 4 a 5% cuando se usa un 0.2% de nanotubos de multicapa/ nanofluidos en aceite mineral. Esto es debido al efecto del movimiento Browniano y a la formación de grupo de partículas que actúan como puentes para la transferencia de energía. (Leong et al., 2016)

CAPITULO III: APARATO Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3 Aparato experimental

Se instaló un aparato experimental para el desarrollo de pruebas que evalúen el desempeño del colector solar con tanque integrado OKSOL-150, los estudios fueron realizados en las instalaciones del Edificio Paulet de la Universidad Católica San Pablo, adecuando el espacio para realizar las pruebas. Se eligió el quinto piso debido al gran espacio que tiene y a que no se tendrían interferencias de sombra ni del viento.

La Figura 10, el aparato experimental está conformado por tres partes: el colector solar de tanque integrado, sección de almacenamiento de agua y sección de adquisición y procesamiento de datos. Cada una de las partes del aparato experimental tiene los elementos necesarios para la realización de la prueba y evitar alguna falla durante la realización de estas. La realización de las pruebas, así como la puesta en marcha del colector requiere de supervisión programada.



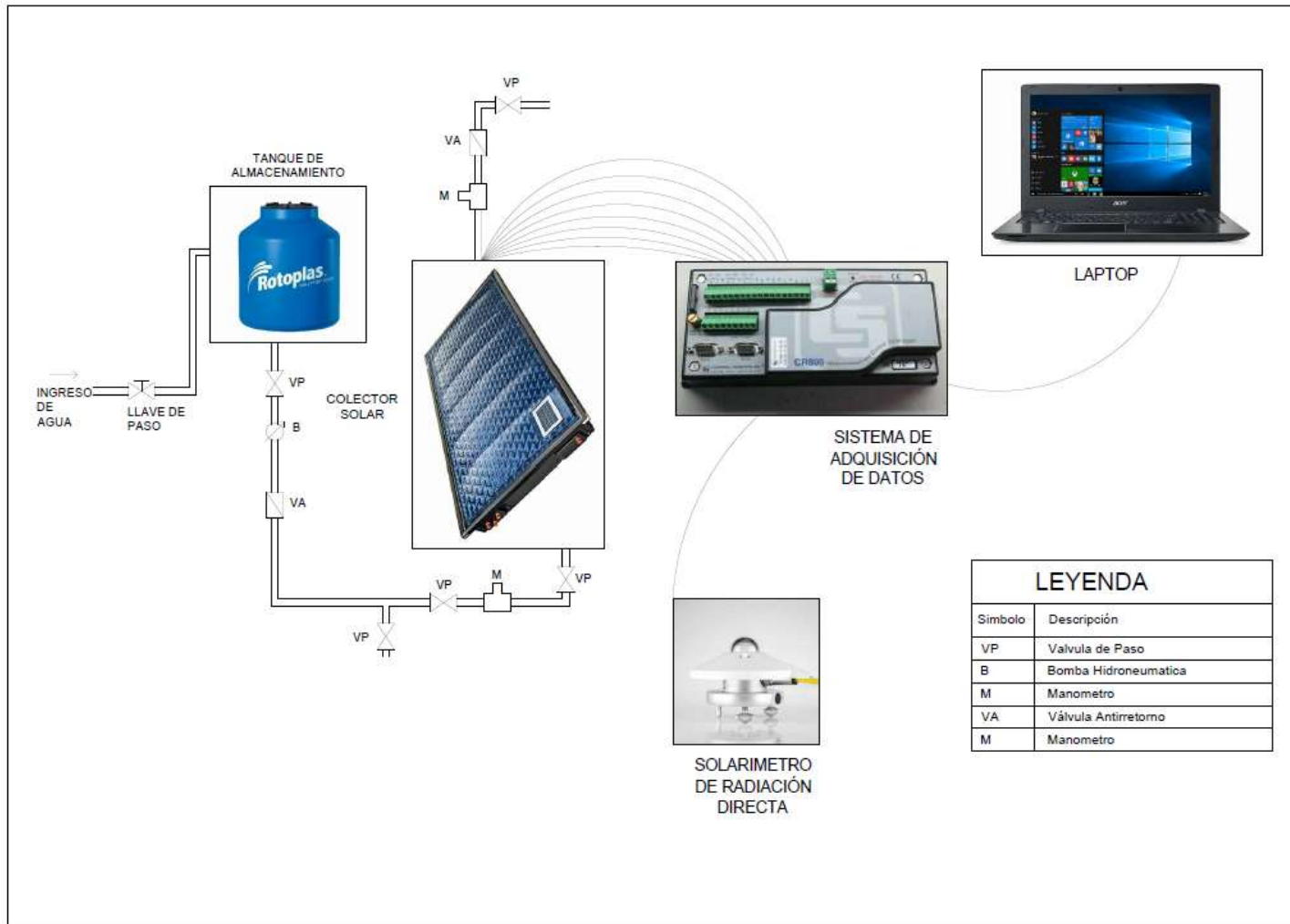


Figura10: Esquema del Aparato Experimental. Fuente: Propia

3.1 Colector Solar de Tanque Integrado OKSOL-150

El sistema solar Oksol-150 utiliza la energía solar térmica para la producción de agua caliente para distintos usos. En un solo equipo se integra el absorbedor, el sistema de recirculación forzado y el acumulado de 150 litros. Además de aprovechar la energía solar térmica, aprovecha la fotovoltaica para la alimentación de la bomba de recirculación, lo que hace de este, un sistema autónomo sin necesidad de una fuente de energía externa. (Orkli, 2016)



Figura 11: Equipo OKSOL-150 (Orkli, 2016)

Según (Adriano, 2016) y Orkli, empresa española que trabaja para el sector del confort (Orkli, 2016), los beneficios obtenidos de usar este tipo de colectores son:

- Máxima eficiencia y máximo ahorro: El equipo genera un ahorro de hasta el 65% de la energía que se destina para la generación de agua caliente sanitaria.
- Instalación sencilla: Facilidad en el montaje, ya que solo es necesario conectar la entrada y salida de agua.
- Autónomo: No requiere conexión eléctrica para su funcionamiento.
- Alto rendimiento: No hay pérdidas de calor debido al recorrido o tamaño de las tuberías.

Tabla 2: Datos Técnicos del equipo OKSOL-150

Descripción	Características
Fabricante	Orkli
Modelo	OKSOL-150
Factor de pérdidas de primer orden	3.2 W/m ² K
Factor Óptico	0.72
Absorbedor	
Tipo	Acero inoxidable cromo negro selectivo
Absortividad	0.97
Emisividad	0.22
Superficie de Absorción	1.95 m ³
Capacidad	4 litros
Presión máxima de trabajo	3 bar
Cubierta	
Tipo	Metacrilato
Espesor	4 mm
Transmitancia	0.92
Aislamiento lateral y trasero	
Tipo	PU expandido
Espesor	50 mm
Densidad	40 Kg/ m ³
Conductividad	0,023 W/m ² K
Aislamiento entre depósito y absorbedor	
Tipo	Lana de roca
Espesor	25 mm
Densidad	70 Kg/ m ³
Conductividad	0,038 W/m ² K
Deposito	
Tipo	PPSU
Capacidad	150 litros
Presion máxima de trabajo	4.5 bar
Otros	
Peso	85 kg
Rango de caudal	2.4 a 3 l/min

3.2 Componentes y Características del equipo OKSOL-150

- **Cubierta:** Hecho de Metacrilato. Tiene una forma abovedada que favorece el efecto invernadero e incrementa la resistencia a los impactos.



Figura 12: Cubierta del equipo OKSOL-150 (Orkli, 2012)

- **Interacumulador:** Depósito de tipo alveolar. Está integrado en el colector que tiene una capacidad de 150 litros y resistente a la corrosión,



Figura13: Interacumulador del equipo OKSOL-150 (Orkli, 2012)

- **Disipador estático:** Protege el sistema de altas temperaturas y sobrecalentamiento no deseados.



Figura 14: Disipador estático del equipo OKSOL-150 (Orkli, 2012)

- **Panel Fotovoltaico:** alimenta la bomba de recirculación evitando el uso de fuente externa. Tiene una potencia pico de 1.8 W, voltaje nominal de 12 V.



Figura 15: Panel Fotovoltaico del equipo OKSOL-150. (Orkli, 2012)

- **Bomba de Circuito primario:** Bomba DC de tipo magnética, modula su velocidad en función de la radiación solar. Tiene una tensión de 12V y un caudal de 2.4 a 3 L/min.



Figura 16: Bomba de circuito primario del equipo OKSOL-150 (Orkli, 2012)

- **Válvula de 3 vías termostáticas:** Válvula de seguridad que dirige el caudal del fluido primario hacia el intercambiador del depósito o hacia el dissipador estático, en situaciones de baja y/o nula demanda de agua y alta radiación solar.

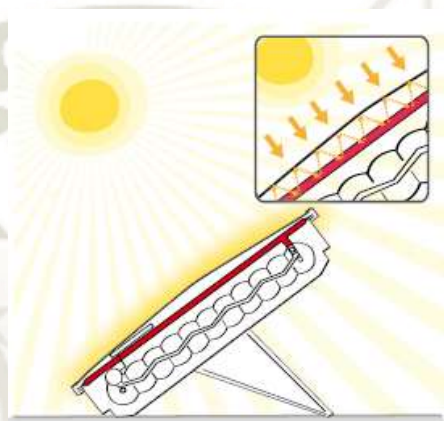


Figura 17: Válvula de tres vías del equipo OKSOL-150 (Orkli, 2012)

3.3 Principio de Funcionamiento del colector solar OKSOL-150

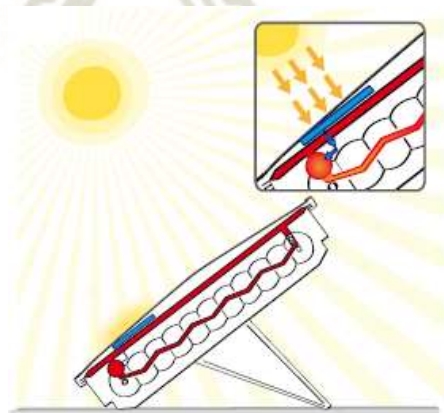
Antes de la puesta en servicio del equipo, se recomienda que se tapen los captadores para evitar que el fluido caloportador se vaporice. Se debe llenar el depósito antes de destapar el equipo para evitar que existan choques térmicos dentro del equipo. (Solarorkli, 2012)

La radiación incide sobre la cubierta del colector, que gracias al tratamiento y forma que se realiza sobre la cubierta nos permite aprovechar la gran cantidad de radiación que recibe, determinando que al estar lleno del fluido caloportador, se aproveche la totalidad de la superficie. (Orkli, 2016)



*Figura 18: Incidencia de la radiación solar en la cubierta del colector.
Fuente: Propia*

La radiación que incide sobre la superficie también incide sobre el panel fotovoltaico integrado al equipo solar. Este panel fotovoltaico genera energía eléctrica que alimenta a la bomba de recirculación, que transfiere el fluido caloportador al interior del intercambiador. (Orkli, 2016)



*Figura 19: Incidencia de la radiación solar en el panel fotovoltaico.
Fuente: Propia*

El calor es transferido del colector al depósito, gracias al fluido caliente que circula de la bomba al intercambiador. El depósito se calentará siempre que haya radiación solar hasta un límite de 95°C. (Orkli, 2016)



Figura 20: Transferencia de calor del fluido caloportador al depósito.

3.4 Sección de Alimentación de Agua

Los equipos que conforman esta sección en el aparato experimental son el tanque de almacenamiento, la bomba de centrifuga y los dispositivos reguladores de flujo en el trayecto a la entrada del colector.

Tanque de Almacenamiento

El tanque a utilizar es de 600 litros de marca Rotoplas y su finalidad permitirá que el agua que es almacenada de la red, se encuentre en una temperatura uniforme y lista para ser usada en el colector.



Figura 21: Tanque de agua marca Rotoplas. Fuente: Propia

Bomba de Circulación de Agua

La bomba de Marca Humboldt, con 3 cambios de velocidad para la potencia de la bomba de 96W, 63W y 39W. Su función es enviar el agua del tanque de almacenamiento hacia el colector.

Tabla 3: Datos de placa de la bomba Humboldt 0.6HP

Descripción	Características
Tensión Nominal (V)	220
Presión Trabajo Máxima (bar)	10
Frecuencia (Hz)	60
Potencia (W)	96; 63; 39
Amperaje (A)	0.45; 0.29; 0.18



Figura 22: Bomba Hidroneumática Humboldt. Fuente: Propia

Los dispositivos reguladores de flujo como la válvula de paso que comunica el tanque de alimentación con la bomba hidroneumática y las válvulas antirretorno que se colocan después de la bomba y a la salida del colector para evitar el reingreso del agua ya calentada.

3.5 Sección de Adquisición y Procesamiento de Datos

Los equipos de esta sección permiten la adquisición de datos necesarios para poder calcular los valores que conoceremos en cada prueba a realizar en el colector para determinar su eficiencia y su coeficiente de pérdidas. Está compuesto por los solarímetros, el sistema de adquisición de datos y los sensores de temperatura.

Sensores de temperatura

Los termopares se utilizan para medir la temperatura en la entrada, interior y salida del colector. Los termopares serán tipo K (Cromen-Alumen) que tiene una salida de 4 a 20 mA. Los sensores estarán distribuidos en los siguientes puntos:

- Temperatura Ambiente
- Temperatura de entrada del colector
- Temperatura en el interior del colector (8 termopares distribuidos en el colector).
- Temperatura de salida del colector.

Tabla 4: Datos del solarímetro CMP6

Descripción	Características
Rango Espectral	-270°C a 1372°C
Sensibilidad	41 uV/°C
Incerteza	0.75 %
Precisión	+/- 0.2°C



Figura 23: Cable para termopar tipo K

Solarímetro de Radiación Directa

Se utilizará para la medición de la radiación solar global durante el día. El modelo es CMP6, marca Kipp & Zonen. El solarímetro se conecta al sistema de adquisición de datos para ser almacenados en el programa CR800. Se debe colocar en una zona específica para que durante el ensayo la incidencia del sol sea continua de tal manera que la medición no presente ningún error.

Tabla 5: Datos del solarímetro CMP6

Descripción	Características
Rango Espectral	285 a 2800 nm
Sensibilidad	5 a 20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Tiempo de Respuesta	18 s
Rango de medición	0 a 20 mV
Precisión	$\pm 5\%$
Rango de Temperatura de operación	-40 °C a 80°C
Irradiación solar máxima	2000 W/ m ²
Campo de visión	180°



Figura 24: Solarímetro CMP 6. (Kipp & Zonen, 2010)

Sistema de Adquisición de Datos

Está conformado por los siguientes componentes: el sistema de adquisición de datos y una computadora. El equipo se comunica con la computadora, recibiendo los datos de todos los sensores colocados en el aparato experimental, dichos valores son enviados para su almacenamiento y posterior análisis. El programa que se utiliza para la adquisición de datos es el software PC400 para Datalogger Campbel CR800, que con la interfaz tipo Windows nos brinda una fácil manipulación y configuración.

Tabla 6: Datos del Sistema de Adquisición de Datos CR800

Descripción	Características
Precisión de medida de voltaje	+/- 0.06%
Alimentación eléctrica	9.6 a 16 Vdc
Frecuencia de Muestreo	100 Hz
Temperatura de Funcionamiento	-25°C a 50°C (estándar)
Puerto de comunicación	RS – 232
Límite de voltaje de entrada	+/- 5 Vdc



Figura 25: Adquisidor de Datos CR800 Datalogger. Fuente: Propia

3.6 Instalación completa del Colector y los equipos.

3.6.1 Instalación de termopares en el colector

Para la instalación de los termopares en el interior del colector, se destapa con cuidado el equipo protegiendo la cubierta, el absorbedor, el aislamiento que va encima del depósito. También hay que tener extrema precaución con la placa fotovoltaica que alimenta la bomba de circulación magnética de circulación.

Al estar descubierto el depósito, se procede a colocar 4 termopares en cada lado del colector, que son sujetos con cinta térmica adhesiva, como se ve en la Figura 26. Se debe dejar un sobrante de cable termopar que ira conectado a los puertos que tiene el adquisidor de datos. Finalmente se cierra el colector



Figura 26: Instalación de los termopares en el depósito del colector

Fuente: Propia

3.6.2 Ubicación e instalación del colector solar

Para la instalación del colector es importante que la orientación sea al norte en el hemisferio sur, esto es para aprovechar eficazmente la salida y puesta del sol. Buscando estas características se instaló el colector en este lugar. En la Figura 27 se observa la ubicación donde estará colocado el colector.



Figura 27: Ubicación donde se instaladora el colector para el procedimiento experimental. Fuente Propia

Se realizó una serie de adaptaciones a esta ubicación para poder realizar las pruebas en el colector:

- Se modifica una toma de agua para la alimentación del tanque que ira directo al colector por un sistema de tuberías.
- Una toma de corriente para el funcionamiento de la bomba hidroneumática. Además de una extensión de corriente para la fuente de alimentación del adquirente de datos y una adecuada conexión a la Laptop que almacenara la información.

También se colocó una pequeña mesa donde ira la laptop y el CR800 Datalogger debido a que estos equipos son delicados. Por ende, hubo la necesidad de armar un toldo para proteger los equipos antes mencionados colocados en la mesa y para el cuidado de la persona que realizara la medición.



Figura 28: Colector solar instalado (Vista Frontal) Fuente: Propia



Figura 29: Colector solar instalado (Vista Lateral) Fuente: Propia

En la Figura 28 y 29 se observa el resultado final de la instalación del colector con los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento y el circuito de acero inoxidable que suministra de agua al colector con la ayuda de la bomba hidroneumática. Este circuito posee elementos útiles para el desarrollo del experimento como llaves de paso, válvulas check y manómetros.

3.7 Procedimiento Experimental

Al estar instalado el colector con todos los requerimientos para su correcto funcionamiento y registro de datos, se realizarán un conjunto de pruebas para determinar el rendimiento del colector, hallar el coeficiente de pérdidas y registro de temperatura en el colector.

El sistema de válvulas y elementos de control permiten controlar el ingreso de agua al colector, además de la temperatura en la entrada, en el interior y salida del colector.

Para evaluar el desempeño del colector se tomará como referencia la Norma Técnica Peruana NTP 399.405:2007: Sistemas de Calentamiento de agua con Energía Solar. Definición y pronóstico anual de su rendimiento mediante ensayos en exterior, que insta los procedimientos de ensayo en exterior para definir el rendimiento de los sistemas solares de calentamiento de agua que funcionan sin apoyo auxiliar de calentamiento en un período de 12 horas de calentamiento diario. En la NTP se considera una aproximación a caja negra lo que implica que no se asuma el tipo de sistema, entonces los procedimientos son apropiados para realizar ensayos en todo tipo de sistema, incluyendo circulación forzada, termosifón y sistema colector-acumulador integrado. Para la instalación del colector se debe seguir los siguientes pasos que nos indica el NTP: [NTP 399, CAMPO DE APLICACIÓN pagina 6]

- El colector se debe colocar en una posición fija mirando hacia el ecuador a una latitud de $\pm 10^\circ$.
- El colector se debe colocar de manera que no forme sombra sobre sí mismo.
- Durante los ensayos el colector se debe colocar donde no se refleje en él, radiación solar de ninguna edificación y no exista obstrucciones importantes en el campo visual.
- La estructura donde se colocará el colector no debe afectar la aislación lateral y trasera de este.
- Las corrientes del aire, tal como las ascendentes por las paredes de los edificios, no deben pasar sobre el sistema. Los sistemas que se realizan sobre el techo de un edificio se debe colocar mínimo a 2 metros del borde del techo.

3.7.1 Metodología de operación del colector solar integrado

Para la ejecución de este proceso, se deberá realizar una serie de pasos para poner en funcionamiento el aparato experimental, logrando de esta manera analizar

los cambios que tendrá el colector al modificar el fluido caloportador. Los pasos del procedimiento experimental son los siguientes:

- El equipo debe empezar su funcionamiento a partir de las 9 am.
- Se conecta los termopares a los puertos del adquisidor de datos del CR 800 (Figura 30) y conectar el último al software PC400 Datalogger, el que almacenara los datos en la computadora.

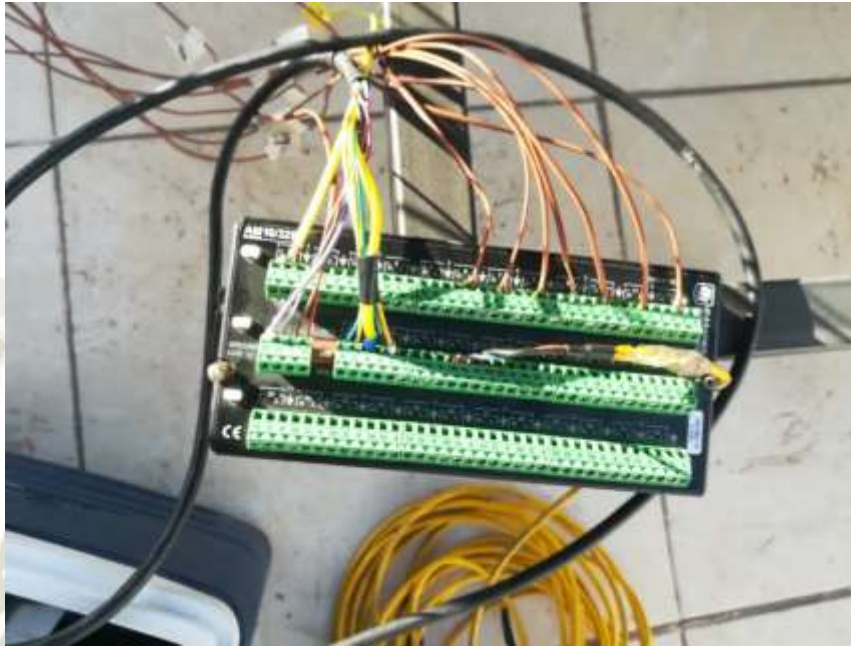


Figura 30: Conexión de los termopares a los puertos del Adquisidor de Datos CR800. Fuente: Propia

- Encender la fuente de 12V que alimenta el adquisidor de datos.
- Se debe revisar el nivel del agua en el tanque. Aproximadamente la mitad de su capacidad y revisando que este nivel no baje.
- Se debe abrir primero la llave general que permite el paso del agua del tanque de almacenamiento de 600 litros a la bomba hidroneumatica. El uso de un tanque es para uniformizar la temperatura del agua antes del ingreso al colector.
- Luego se abre la segunda llave de media pulgada, antes de la entrada del colector, para drenar el agua de la tubería y que la temperatura que ingrese al colector sea la del tanque. Se llena un balde para registrar la temperatura del agua que ingresa al colector.
- Se deja funcionando el colector durante la mañana hasta las 3 pm, monitoreando las condiciones en el colector. (Figura 31 y Figura 32)



Figura 31: Puesta en marcha del colector para el procedimiento experimental Fuente: Propia



Figura 32: Localización para verificar el almacenaje continuo de datos y las condiciones del colector. Fuente: Propia

- Después se cierra esta llave y procedemos a escoger la velocidad con la que funcionara la bomba (se recomienda la velocidad 1).
- Finalmente se abre la última llave a la salida del colector, para realizar el ensayo para determinar la eficiencia del colector.
- Encendemos la bomba hidroneumática y empezamos la recolección de datos.

Una vez terminado el día de medición, se desconecta los termopares a las entradas del Adquisidor de Datos, se recoge el adquisidor de datos con su fuente de alimentación y la laptop. Al estar en un ambiente expuesto al sol y viento, se cubre el colector con un protector para evitar que la cubierta sufra algún desperfecto. (Figura 33).



*Figura 33: Protección del colector para la exposición al ambiente.
Fuente: Propia*

3.7.2 Desarrollo del nanofluido con tratamiento físico y químico

Antes de realizar cualquier mezcla con los nanotubos de carbono, se planteó analizar el comportamiento de estas partículas al estar en una mezcla líquida. Se preparó una pequeña cantidad de nanotubos de carbono en agua destilada en una concentración de 0.1%. El nanofluido se dejó 3 horas en un agitador magnético (Figura 34) y luego se deja reposando con la finalidad de ver cuánto tiempo demora en decantar las partículas.



Figura 34: Mezcla de nanotubos de carbono con agua destilada usando un agitador magnético. Fuente: Propia.

Pasando las 12 horas de dejar el nanofluido en un matraz, se ve que rápidamente se precipitan los nanotubos de carbono al fondo, lo cual muestra que para un uso constante que tendrá dentro del colector, es necesario aplicarle un tratamiento físico y/o químico a las nanopartículas.



Figura 35: Mezcla de nanotubos de carbono usando un agitador magnético pasado 12 horas en reposo. Fuente: Propia.

A las nanopartículas de carbono que se adquieren para el procedimiento experimental, se les debe de realizar un tratamiento de limpieza para que sean agregados a la mezcla de agua con propilenglicol. El tratamiento químico que se realiza a los nanotubos de carbono (NTC) según (Esumi, Ishigami, Nakajima, Sawada, & Honda, 1996), se debe hacer con una proporción de 1 ácido nítrico y 3 ácido sulfúrico, donde por 1 gramo de nanotubos de carbono se usa 40 ml de solución acida. La capacidad del colector es de 4 litros y al querer conseguir una concentración en volumen de 0.1%, de los resultados del trabajo obtenidos por (Marrón Matta, 2018) se determina la cantidad de nanotubos de carbono que necesitaremos para el colector.

Tabla 7: Cantidad en gramos de nanoparticulas en peso necesarias para preparar el nanofluido

Concentración en Volumen	Volumen en Nanoparticulas [ml]	Masa de Nanoparticulas [gr]
0.1%	0.43	0.7482
0.1%	4	x

$$x = 6.96 \text{ gramos}$$



Figura 36: Nanotubos de Carbono para preparar nanofluido con tratamiento químico y físico a 0.1% de concentración en volumen para 4 litros. Fuente: Propia



Figura 37y 38: Equipo de Ultrasonido “Ultrasonic Cell Crusher Noise Isolation Chamber”. Fuente: Propia

Una vez realizada el tratamiento químico, que conlleva al correcto manejo de los ácidos en un ambiente con buena ventilación y teniendo los correctos equipos de protección. La mezcla ingresa al equipo de ultrasonido para luego pasar por un proceso de limpieza de los nanotubos hasta obtener un PH de 7. La mezcla se coloca en un crisol que ira posteriormente a un secador eléctrico Binder a 100°C durante 12 horas como se ve en la Figura 39. Terminado este proceso la mezcla se lleva a un mortero para dejarlo como polvo seco. (Marrón Matta, 2018)

Los nanotubos de carbonos ya tratados son mezclados con agua con propilenglicol, usando un beaker para toda la mezcla. Ya realizado este paso se lleva esta mezcla al equipo Ultrasonido para homogenizar la solución. Los parámetros que se usaran están indicados en la Figura 41. Se aplica 40 min de sonicación que son indicados en (Garg et al., 2009), los demás parámetros siguen los valores de recomendación del fabricante del equipo.



Figura 39: Mezcla de Nanotubos ingresados en el Secador Electrico Binder. Fuente:Propia



Figura 40: Nanotubos de Carbono en agua con propilenglicol al 50/50 en el equipo de ultrasonido Fuente: Propia



Figura 41: Parámetros para el equipo de ultrasonido. Fuente: Propia



Figura 42: Nanofluido obtenido para ser aplicado en el colector.
Fuente: Propia

Debido a la capacidad de 400 ml del equipo de ultrasonido y que es necesario 4 litros para la capacidad del colector, este procedimiento final se repite unas 10 veces con las pausas correctas entre cada proceso de sonicacion para evitar el sobrecalentamiento de la máquina.

3.8 Procedimiento de ensayo

Este ensayo sigue todas las indicaciones de la NTP 399.405:2007, los cuales implican una serie de pruebas en el exterior de un día sobre el sistema completo; incluyendo el rendimiento diario del sistema, la determinación del coeficiente de pérdidas y un estudio de las temperaturas dentro del colector.

3.8.1 Acondicionamiento previo del sistema de ensayo

Para el inicio de las pruebas en el sistema, será necesario:

- Inspeccionar visualmente el sistema y registrar cualquier daño
- Limpiar completamente la cubierta del colector para evitar interferencias.
- Verificar que todas las válvulas de paso estén cerradas durante el proceso de calentamiento del sistema.
- No encender la bomba sin abrir la válvula de salida del colector para evitar sobrepresiones
- Al inicio de cada ensayo, antes de comenzar, proteger el colector del sol directo y acondicionar el colector mediante la circulación de agua fría que nos proporciona la red a un caudal de 10 L/min, de manera que el sistema llegue a una temperatura uniforme.
- Se asume que el sistema alcanzo una temperatura uniforme cuando la diferencia de temperatura del agua en la salida y en la entrada del sistema sea menor que 1 K en un periodo por lo menos 15 minutos o cuando se descargue 3 veces la capacidad del colector.
- Verificar que cada termopar se encuentre conectado correctamente al adquisidor de datos para que registre los datos sin interrupciones durante todo el ensayo.
- Colocar el solarímetro en una zona en la que no sea interrumpido por sombra durante toda la medición experimental.

3.8.2 Prueba con Agua y Propilenglicol como fluido caloportador

En esta prueba se trabaja bajo las condiciones del fabricante. Se prepara el fluido caloportador haciendo la mezcla de propilenglicol y agua a 50% cada uno. Ya realizado el fluido, ingresara en el colector previamente ya llenado con agua, pero con la lona colocada para evitar que la temperatura del fluido se incremente y dañe los componentes del equipo. Cumpliendo los pasos del manual del equipo para el funcionamiento del sistema, iniciara el ensayo.

Determinación del rendimiento diario del sistema

Llenado del deposito	<ul style="list-style-type: none"> • Llenar de agua el colector solar integrado y luego cerrar la entrada y salida del sistema.
Registro de variables	<ul style="list-style-type: none"> • Registrar los valores de irradiancia obtenidos por los solarímetros y la velocidad de viento durante los días de prueba.
Funcionamiento normal del colector	<ul style="list-style-type: none"> • Dejar funcionar el colector durante las horas de incidencia solar y revisando el correcto funcionamiento del colector.
Extracción del colector	<ul style="list-style-type: none"> • Se realiza una extracción a un caudal de 10L/min mientras el agua de reposición ingresa de la red.
Medición de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Esta extracción continuará hasta que la diferencia de temperatura del agua extraída y la suministrada sea menor a 1 K.
Registro de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Se registra la temperatura ambiente, así como la temperatura promedio cada vez que se extraiga la décima parte del volumen del depósito.

$$n_{diaria} = \frac{Q_{util}}{Q_{disp}} \quad (3.1)$$

$$Q_{util} = \sum V \cdot \rho_{agua} \cdot C_p \cdot [T_{sal} - T_{ent}] \quad (3.2)$$

$$Q_{disp} = I \cdot A \quad (3.3)$$

Donde:

- Q: energía solar útil [J];
- V: volumen extraído en la descarga [m³];
- ρ agua: Densidad del agua en kg/m³
- Cp: calor específico del agua [J.Kg⁻¹.K⁻¹];
- T_{sal}: Temperatura de salida [°C].
- T_{ent}: Temperatura de salida [°C].

Para registrar los valores de descarga y de entrada del colector se coloca dos termopares adicionales con una sonda de temperatura para que esta se pueda colocar dentro del agua.

3.8.3 Prueba con Agua y Propilenglicol con 0.1% de concentración de Nanotubos de Carbono como fluido caloportador.

Antes de agregar los nanotubos de carbono a la mezcla de agua con propilenglicol se debe drenar el fluido caloportador ya usado. Una vez retirada la mezcla, se vierte el nanofluido al colector que debe estar bajo las condiciones del fabricante. En este caso se debe tener en cuenta que la bomba de circulación magnética esté funcionando y no se trabe, ya que al agregar los nanotubos a la mezcla original la densidad cambia.

Para determinar el rendimiento diario del sistema, se siguen los pasos de la prueba anterior y se usan las mismas ecuaciones para determinar los valores de Calor Util y eficiencia del sistema.

3.8.4 Estudio de las temperaturas al interior del tanque de almacenamiento del OKSOL-150

Al momento de instalar el equipo, se instrumenta con termopares en distintos puntos en el interior del colector para poder monitorear la temperatura dentro del colector. Las salidas de los termopares se colocan en el adquisidor de datos para que los valores sean almacenados.

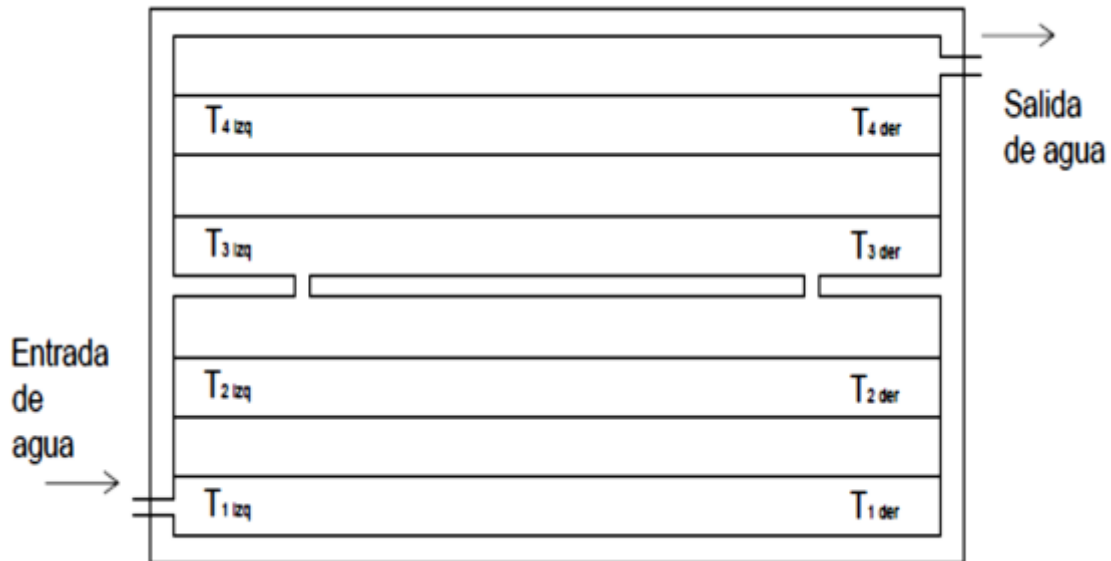


Figura 43: Distribución de los termopares dentro del colector. Fuente: Propia

3.9 Análisis del Cálculo de Incertidumbre

Para el cálculo de la incerteza de los valores obtenidos de las pruebas que se realizaron al colector de tanque integrado, debemos primero realizar una media aritmética dependiendo del valor a analizar (Radiación, Calor y eficiencia). Durante los dos ensayos que se realizaron, se escogieron tres días donde las condiciones atmosféricas sean muy parecidas. Aplicamos estas ecuaciones para calcular la incerteza:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (3.4)$$

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}{n(n-1)}} \quad (3.5)$$

Donde:

- σ_m es la desviación media.
- \bar{X} es la media aritmética.
- X_n es el valor de la variable a medir.
- n es el número de medidas.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4. Análisis y comparación de resultados

4.1 Rendimiento diario del sistema con 50% de agua y 50% propilenglicol.

Para las pruebas que se realizan el mes de agosto se prepara una mezcla de 4 litros de agua y propilenglicol con una mezcla de 50% de cada fluido. Posteriormente esta mezcla es vertida dentro del absorbedor para su funcionamiento.

Los datos de la radiación se obtuvieron a partir del solarimetro y el sistema de adquisición de datos. La Figura 44 muestra los niveles de radiación obtenidos durante el mes de agosto escogiendo 3 días con características atmosféricas similares desde las 9 am hasta las 3 pm.

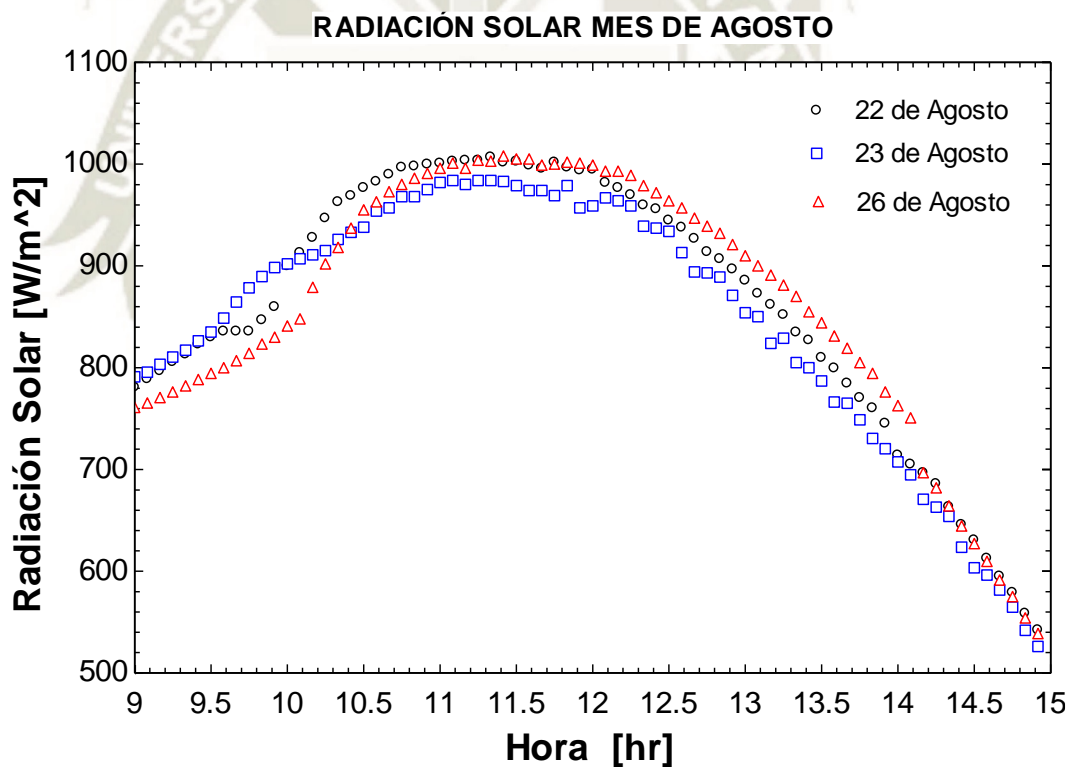


Figura 44: Irradiancia sobre la ciudad de Arequipa en agosto el día 22, 23 y 26.

El Gráfico de la Figura 45 se grafica la incerteza que se da entre las 3 mediciones de Radiación a causas que no se pueden controlar durante la medición.

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN AGOSTO

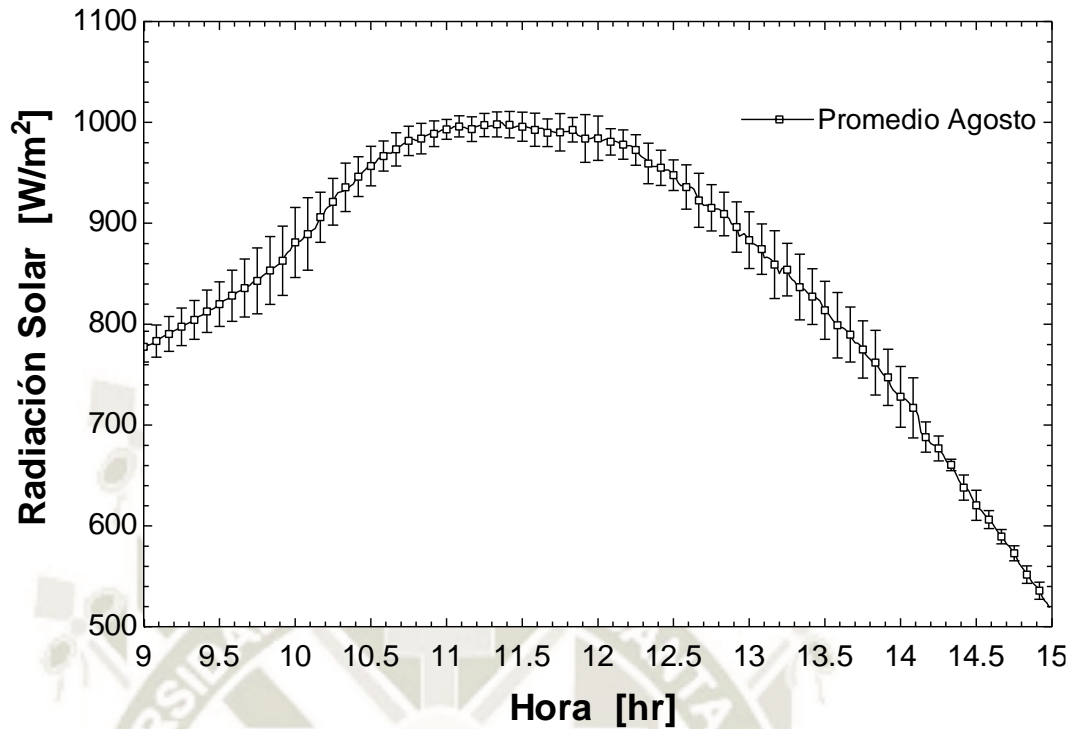


Figura 45: Incertidumbre de Irradiancia sobre la ciudad de Arequipa en agosto el día 22, 23 y 26.

Las Figuras 46, 47 y 48 se aprecia la variación de la temperatura en cada uno de los termopares colocados en el interior del colector, cuatro en cada lado del equipo. El registro se hace desde las 9 am hasta las 3 pm, donde los valores son recolectados en un adquisidor de datos para ser almacenados en el programa Datalogger para determinar el calor útil, la eficiencia del colector y el valor de radiación.

Termopares 22 de Agosto

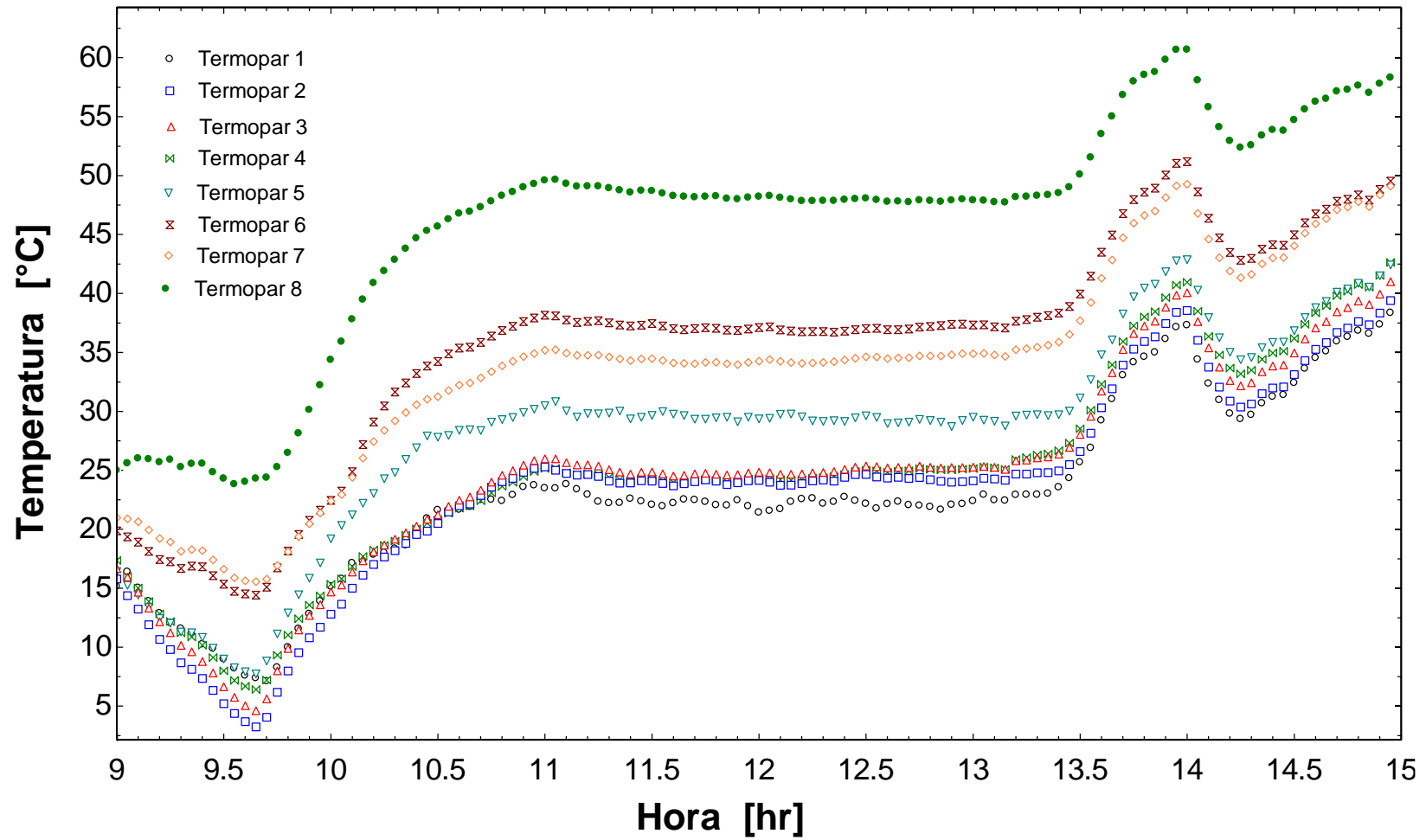


Figura 46: Temperatura de los termopares distribuidos en el interior del colector el 22 de agosto.

Termopares 23 de Agosto

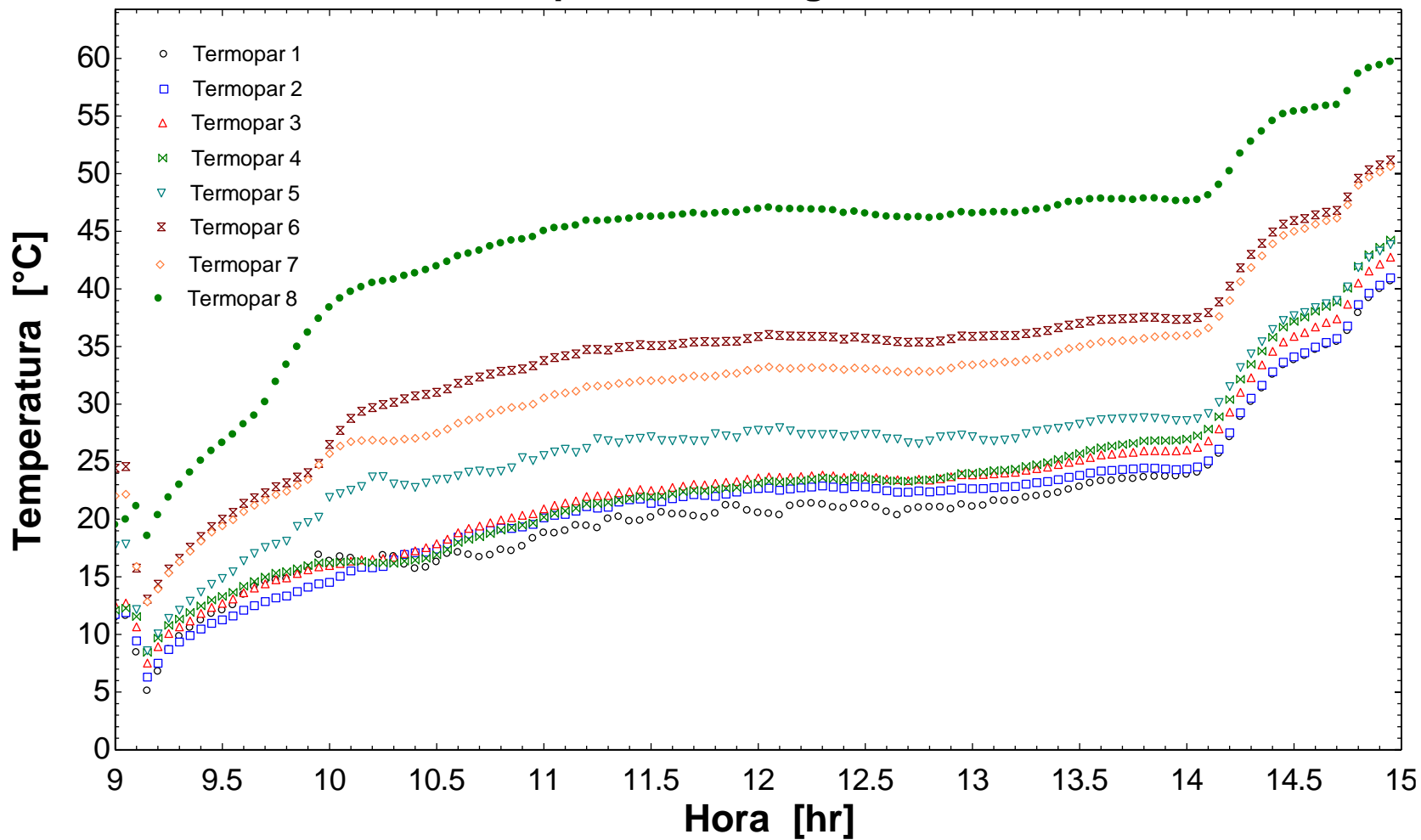


Figura 47: Temperatura de los termopares distribuidos en el interior del colector el 23 de agosto.

Termopares 26 de Agosto

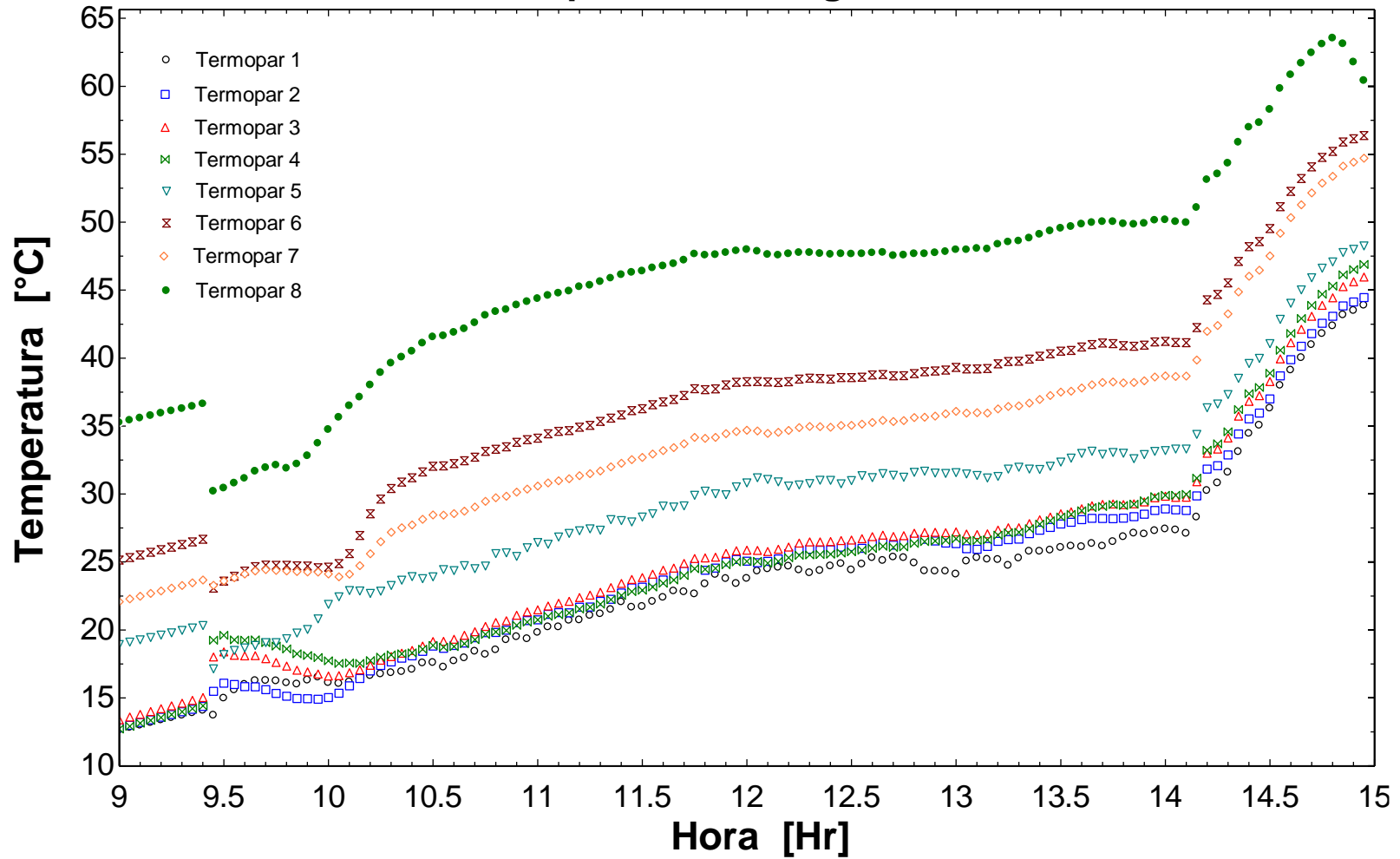


Figura 48: Temperatura de los termopares distribuidos en el interior del colector el 26 de agosto.

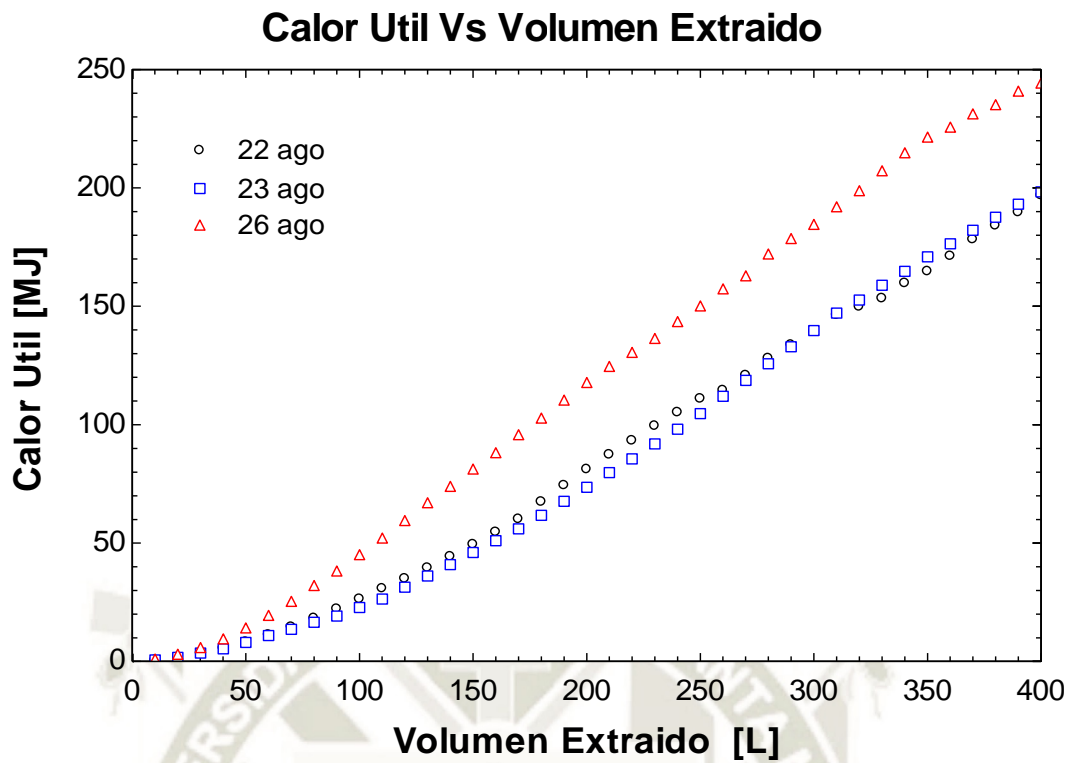


Figura 49: Calor Útil por Volumen Extraído del colector durante los días de prueba.

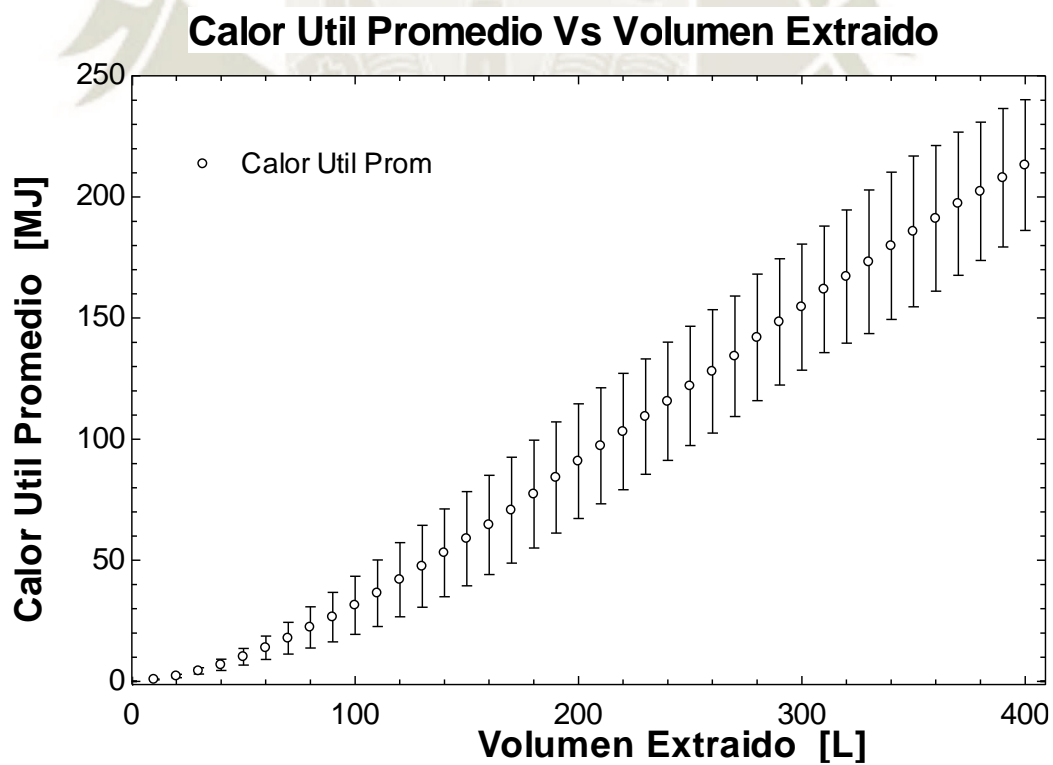


Figura 50: Incertidumbre Calor Útil por Volumen Extraído del colector durante los días de prueba.

El calor que se obtiene del colector lo determinamos mediante el ensayo de eficiencia diaria de la Norma Peruana NTP 399.405:2007; donde el la Figura 49 el Calor Útil es expresado en MJ sobre el Volumen Extraído de Agua, es expresada en Litros, durante la prueba.

Para el cálculo del Calor Útil se toma en cuenta la medición de la temperatura de descarga, la medición de la temperatura de entrada al colector, el volumen de agua extraído y el calor específico del agua.

En la Figura 50 se grafica la variación entre los 3 valores de Calor Útil obtenidos durante los días de medición. El día 26 de agosto el Calor Útil supera los valores obtenidos los días anteriores debido a que este día también se registró mayor temperatura en el interior del colector como se ve en la Figura 48.

En la tabla 8 están los valores de Calor Útil extraído por cada 10 litros de agua, así como el promedio de los 3 días que nos ayuda a determinar la incertidumbre de las mediciones.

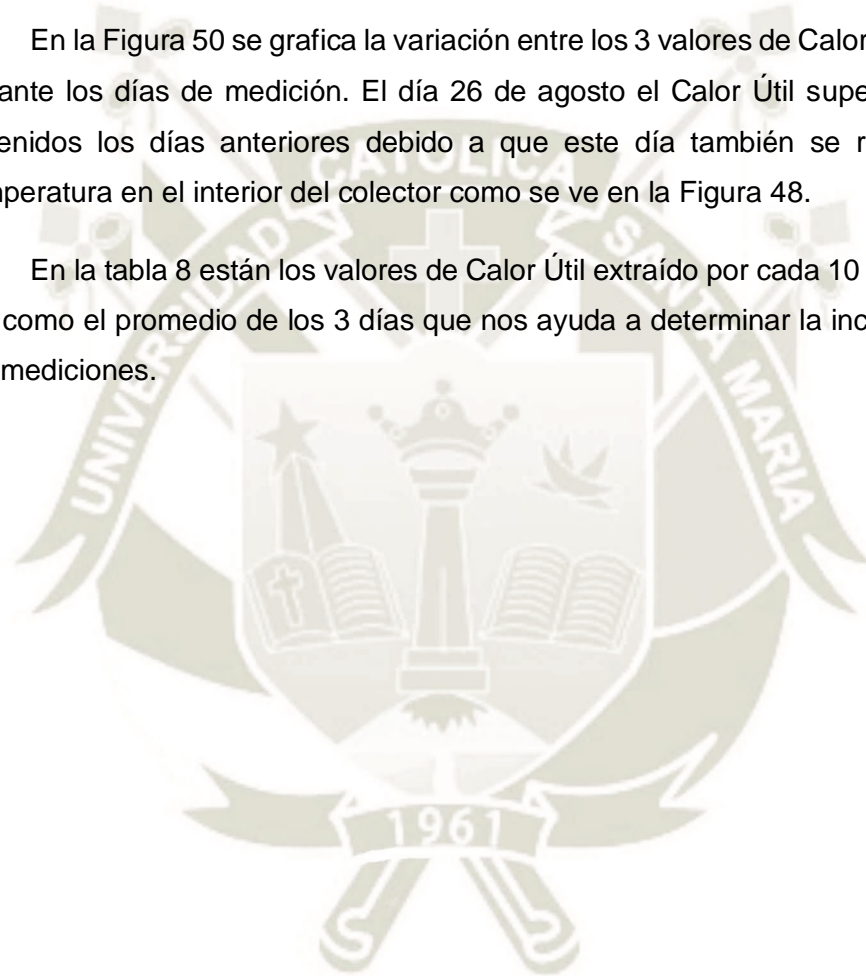


Tabla 8: Calor Útil por Volumen Extraído que tiene el colector de las mediciones realizadas en mes de agosto.

Volumen de Agua Extraído [L]	22 agosto [MJ]	23 agosto [MJ]	26 agosto [MJ]	Promedio [MJ]	Incertidumbre
10	0.6312	0.612	0.9921	0.7451	0.2141
20	1.852	1.73	3.01	2.197	0.7064
30	3.521	3.497	5.799	4.272	1.322
40	5.714	5.318	9.528	6.853	2.324
50	8.278	8.023	14.1	10.13	3.437
60	11.34	10.87	19.4	13.87	4.796
70	14.58	13.51	25.36	17.82	6.556
80	18.29	16.51	32.06	22.29	8.51
90	22.21	19.15	38.17	26.51	10.22
100	26.4	22.69	45.09	31.4	12.01
110	30.84	26.34	52.06	36.41	13.74
120	35.03	31.36	59.5	41.96	15.3
130	39.54	36.06	66.96	47.52	16.92
140	44.39	40.92	73.89	53.06	18.12
150	49.5	45.94	81.28	58.91	19.45
160	54.7	50.94	88.15	64.6	20.48
170	60.24	56.04	95.77	70.68	21.83
180	67.49	61.7	102.8	77.33	22.24
190	74.45	67.59	110.3	84.13	22.96
200	81.25	73.52	117.8	90.86	23.66
210	87.44	79.7	124.6	97.25	24
220	93.4	85.49	130.5	103.1	24.02
230	99.57	91.89	136.4	109.3	23.78
240	105.2	98.04	143.5	115.6	24.44
250	111.1	104.7	150.2	122	24.63
260	114.6	111.9	157.4	128	25.5
270	120.9	118.7	162.9	134.2	24.87
280	128.1	125.7	172.1	142	26.1
290	133.8	132.9	178.6	148.4	26.09
300	139.3	139.7	184.6	154.5	26.03
310	146.4	147.2	192.1	161.9	26.14
320	149.9	152.7	198.8	167.1	27.47
330	153.5	158.9	207.3	173.2	29.62
340	159.8	164.7	214.8	179.8	30.43
350	164.9	170.9	221.5	185.8	31.1
360	171.3	176.4	225.7	191.1	30.05
370	178.3	182.1	231.3	197.2	29.56
380	184.1	187.6	235.2	202.3	28.53
390	189.8	193.1	240.9	207.9	28.61
400	196.9	198.3	244.3	213.2	26.97

En la Figura 51 se grafica la eficiencia del colector sobre el volumen de agua extraído durante los 3 días escogidos para ser evaluados del mes de agosto. Para el calculo de la eficiencia se calcula el calor utilit obtenido por el colector a lo largo del día y los datos obtenidos de la radiacion solar incidente en la area del colector por el area de la placa absorbedora.

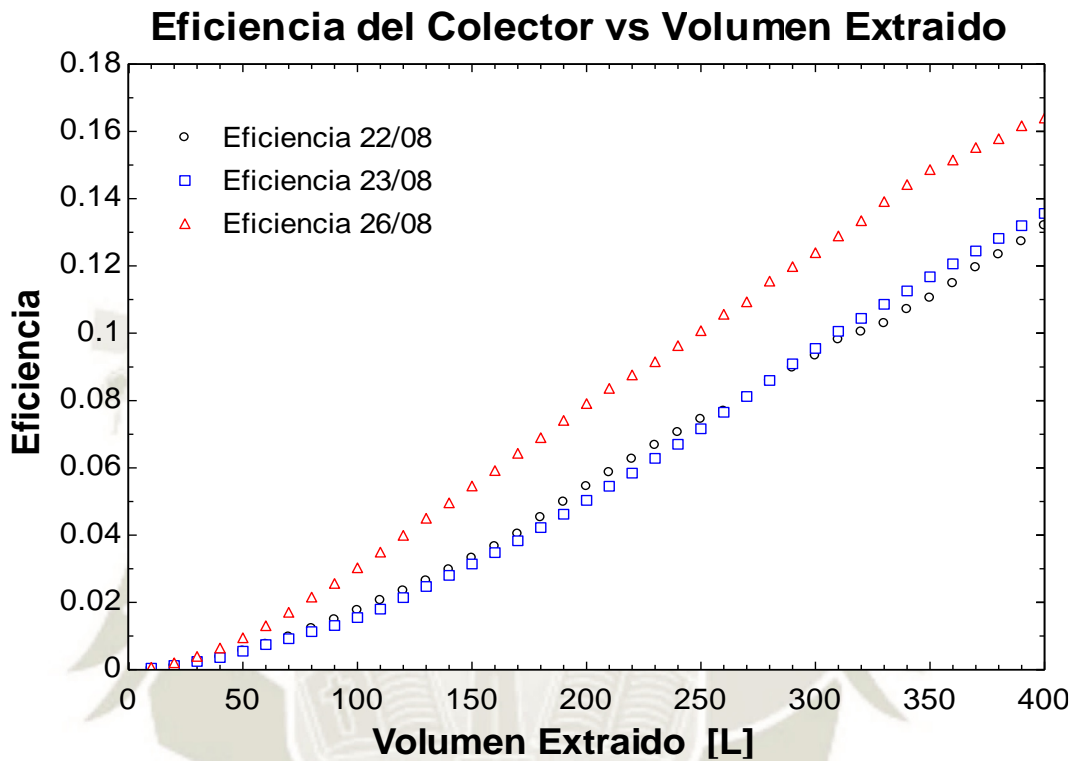


Figura 51: Eficiencia del Colector obtenida durante las mediciones experimentales del rendimiento diario.

De los valores obtenidos durante este ensayo experimental como el Calor Útil, la radiación y la eficiencia del sistema, son analizados en la Tabla 9 los días 22 y 23 de agosto la eficiencia tiene un promedio de 0,1338. El día 26 de agosto la eficiencia llego a 0,1639 que es superior al valor promedio, esto se debe a que ese día el Calor Útil fue mayor por 46 MJ, lo que permitió que el termopar del área de salida del colector alcance una Temperatura Máxima de 65°C.

Tabla 9: Datos del Calor, Radiación y Eficiencia obtenidos del colector OKSOL 150 el mes de agosto

Día	Calor Útil [MJ]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia (η)
22 de agosto	196,898	310529.43	0.132098
23 de agosto	198,299	304738.77	0.13557
26 de agosto	244,303	310367.57	0.163988

4.2 Rendimiento diario del sistema con 50% de agua y 50% propilenglicol con Nanotubos de Carbono al 0.1%

Para la segunda prueba que se realiza el mes de diciembre se prepara una mezcla de 4 litros de agua y propilenglicol con una mezcla de 50% de cada fluido. A la mezcla se le añadió 6.96 gr de nanotubos de carbono (NTC), sometidos previamente a un tratamiento químico. En seguida esta mezcla es vertida dentro del absorbedor para su funcionamiento. Se debe verificar que la bomba de circulación magnética funcione correctamente ahora que se añadieron los nanotubos.

La Figura 52 muestra los niveles de radiación obtenidos durante el mes de diciembre escogiendo 3 días con características similares medidos desde las 9 am hasta las 3 pm.

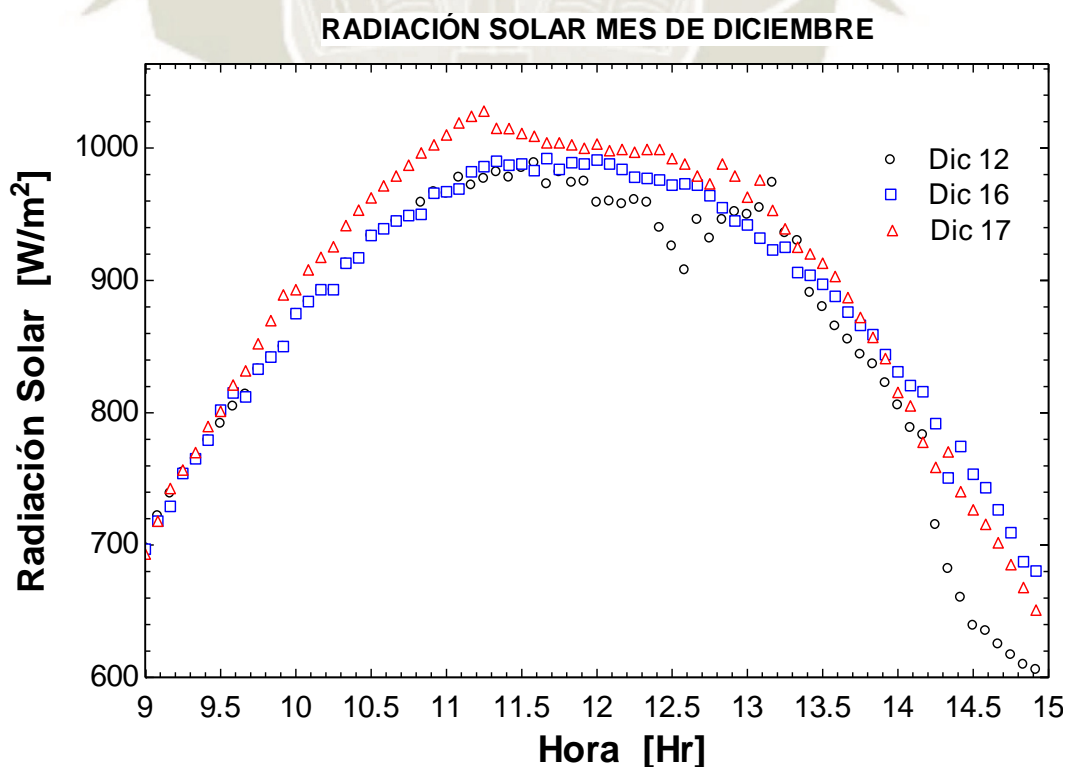


Figura 52: Irradiancia sobre la ciudad de Arequipa en diciembre el día 12, 16 y 17.

La Figura 53 se grafica la incerteza que se da entre las 3 mediciones de Radiación a causas que no se pueden controlar durante la medición como el caso del día 1.2 que a partir de las 2pm se presentó problemas de nubosidad.

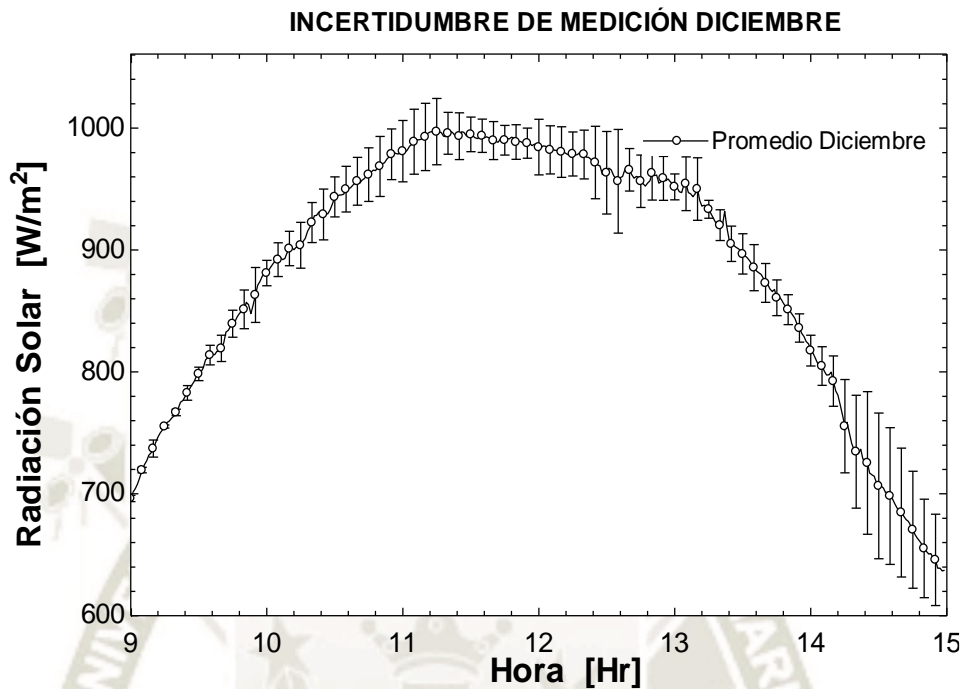


Figura 53: Incertidumbre de Irradiancia sobre la ciudad de Arequipa en diciembre el día 12, 16 y 17.

Las Figuras 54, 55 y 56 se ve la variación de la temperatura en cada termopar desde las 9 am hasta las 3 pm, distribuidos en el interior del colector. Los datos son recolectados por el adquisidor de datos los cuales son almacenados en el programa Datalogger para determinar los valores del ensayo anterior y así obtener la eficiencia al agregar nanotubos de carbono.

Termopares 12 de Diciembre

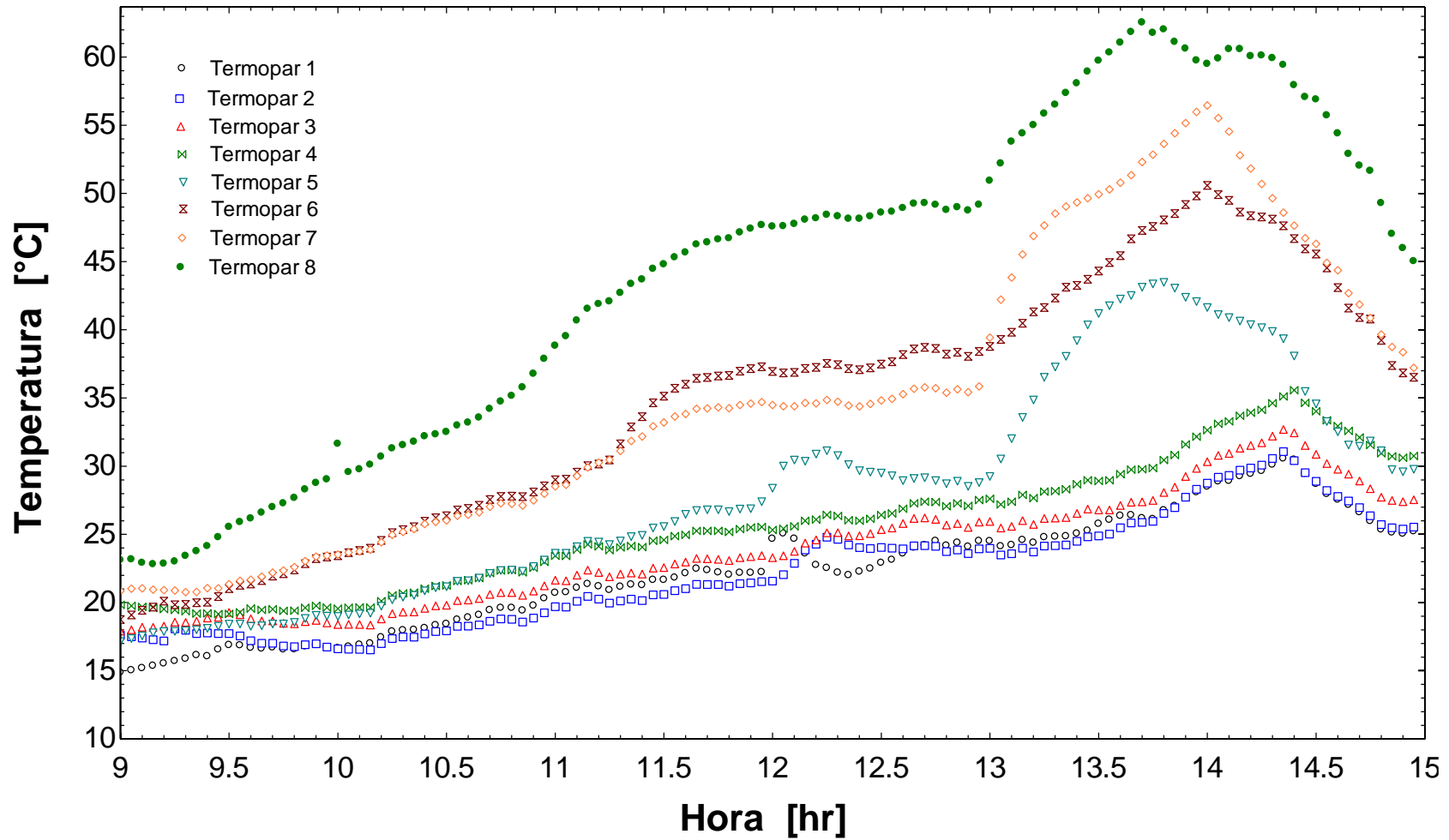


Figura 54: Temperatura de los termopares distribuidos en el colector el 12 de diciembre

Termopares 16 de Diciembre

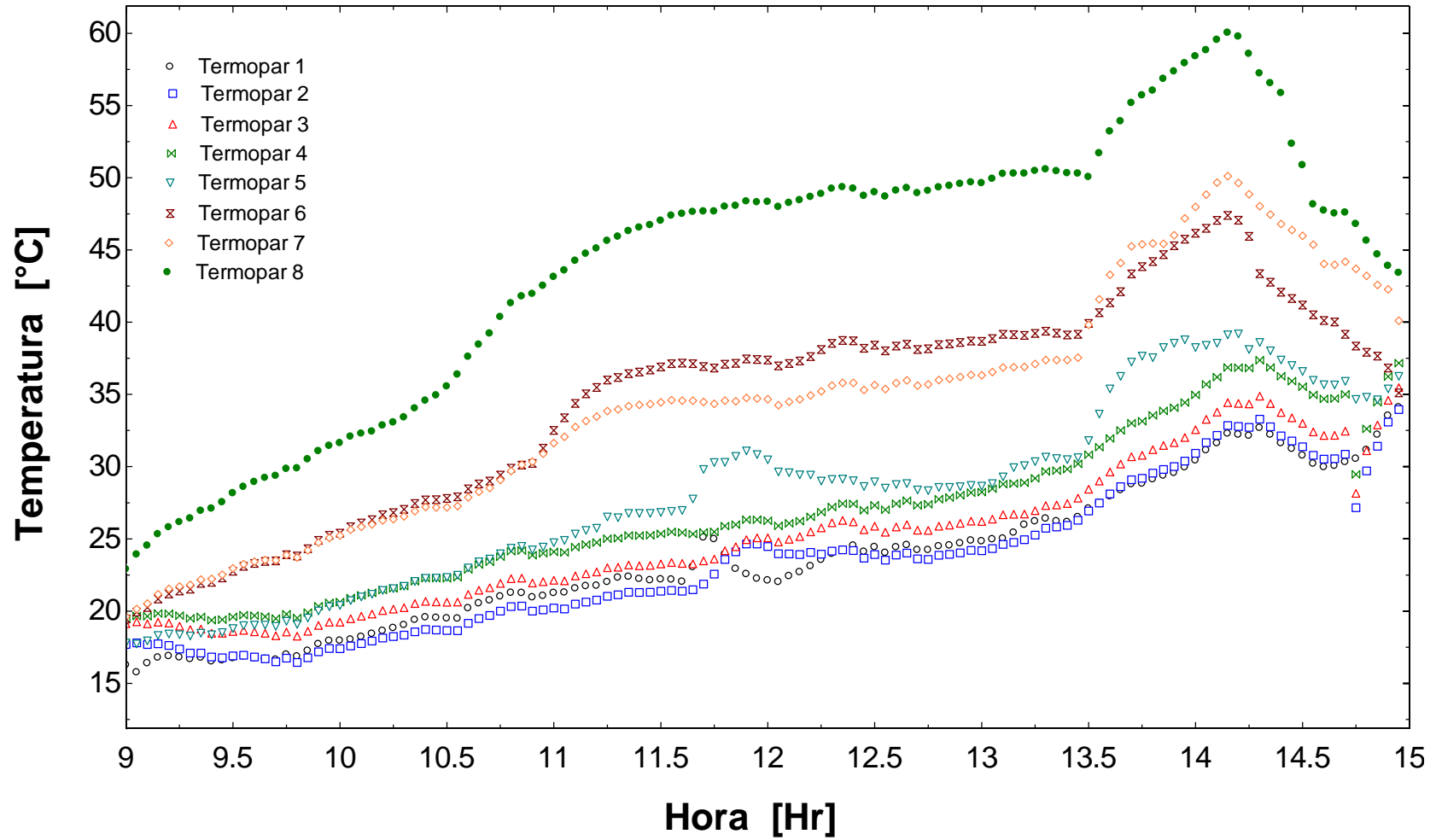


Figura 55: Temperatura de los termopares distribuidos en el colector el 16 de diciembre

Termopares 17 de Diciembre

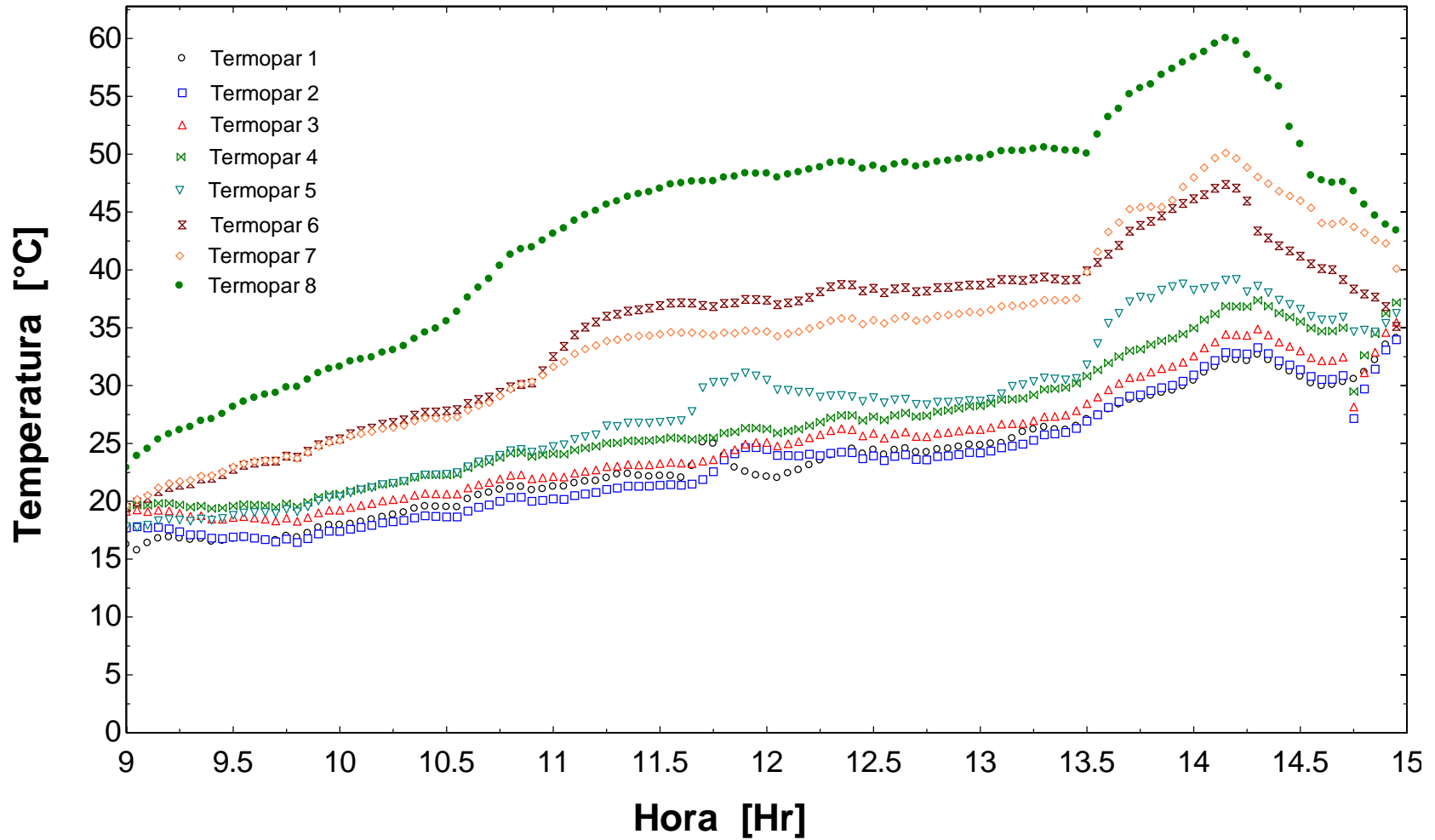


Figura 56: Temperatura de los termopares distribuidos en el colector el 17 de diciembre

Calor Útil Vs Volumen Extraído

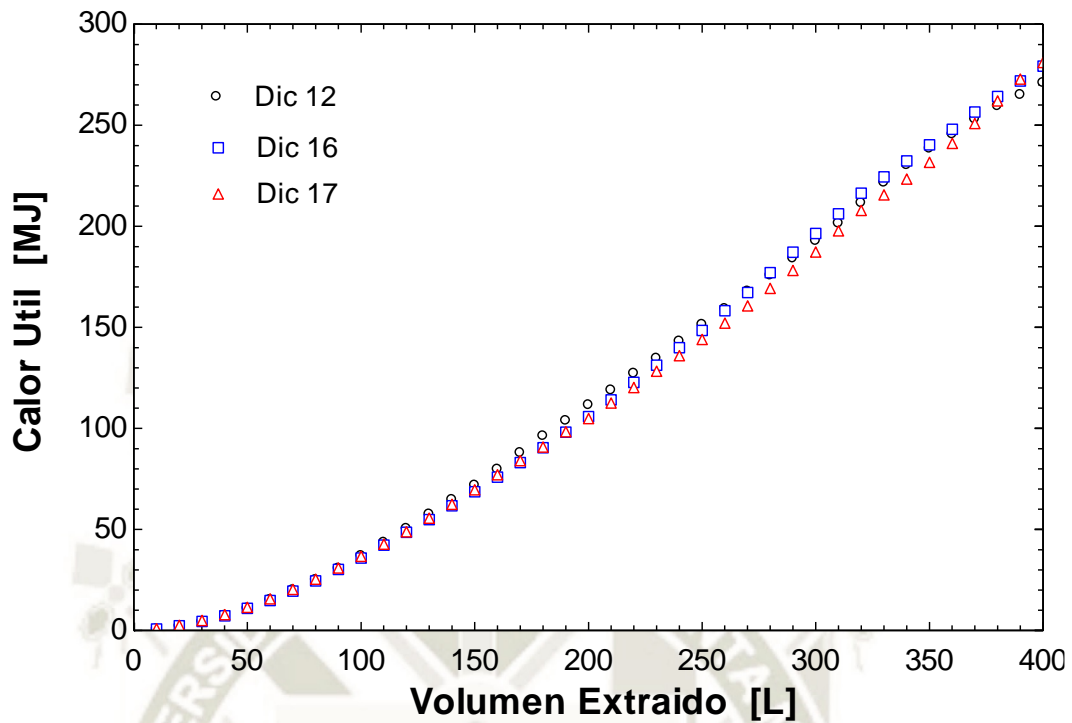


Figura 57: Calor Útil por Volumen Extraído del colector durante los días de prueba.

Calor Útil Promedio Vs Volumen Extraído

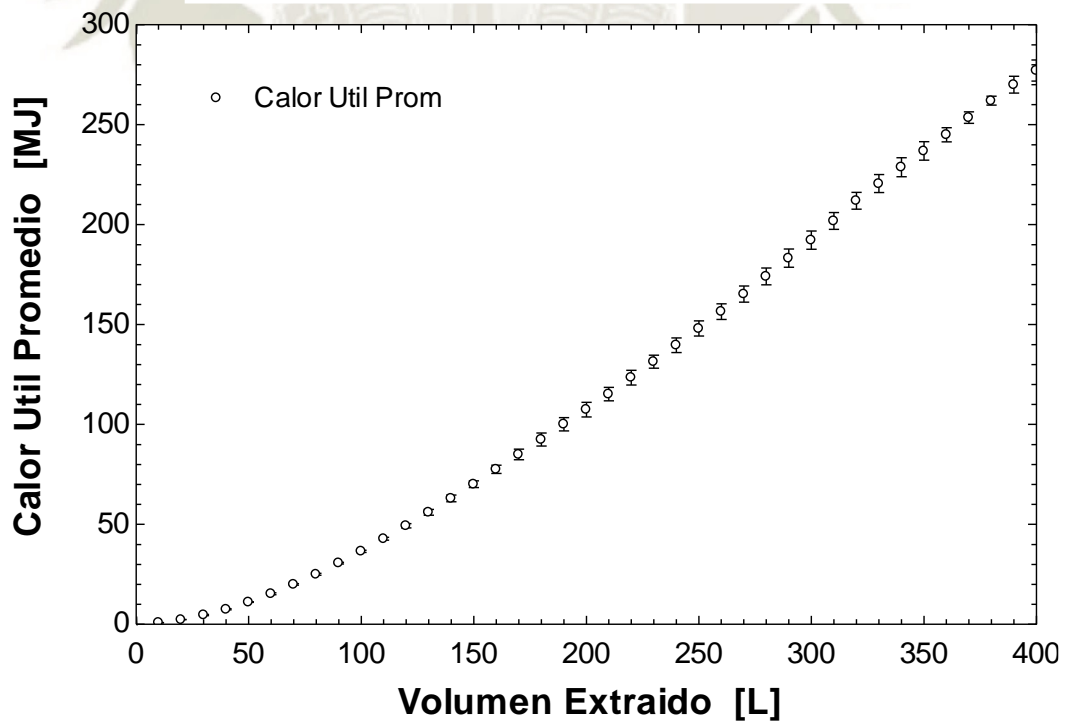


Figura 58: Incertidumbre de Calor Útil por Volumen Extraído del colector durante los días de prueba.

El calor que se obtiene del colector lo determinamos mediante el ensayo de eficiencia diaria NTP 399.405:2007; de la Figura 57 el Calor Útil es expresado en MJ sobre Volumen Extraído en Litros durante la prueba. El Calor Útil en las tres mediciones es muy similar por lo que en la Figura 58 la variación es mínima y la incerteza es prácticamente nula.

En la tabla 10 están los valores de Calor Útil extraído por cada 10 litros de agua, el promedio de las 3 mediciones y la incertidumbre entre estas.



Tabla 10: Calor Útil por Volumen Extraído que tiene el colector de las mediciones realizadas en mes de diciembre

Volumen de Agua extraído [L]	12 diciembre [MJ]	16 diciembre [MJ]	17 diciembre [MJ]	Promedio [MJ]	Incertidumbre
10	0.7706	0.7719	0.8251	0.7892	0.0311
20	2.282	2.267	2.472	2.34	0.1142
30	4.485	4.456	4.957	4.633	0.2814
40	7.426	7.269	7.819	7.505	0.283
50	11.03	10.93	11.37	11.11	0.2321
60	15.3	14.78	15.66	15.24	0.4427
70	20.04	19.51	20.31	19.95	0.4069
80	25.14	24.49	25.34	24.99	0.4426
90	30.79	30.12	30.9	30.6	0.4204
100	36.99	35.86	36.62	36.49	0.5763
110	43.61	42.14	42.64	42.8	0.7464
120	50.47	48.56	48.78	49.27	1.048
130	57.57	54.81	55.48	55.95	1.439
140	64.84	61.7	62.43	62.99	1.643
150	71.89	68.63	69.55	70.02	1.68
160	79.84	75.8	76.99	77.54	2.074
170	87.99	83	84.03	85	2.633
180	96.23	90.4	90.79	92.47	3.26
190	103.9	98.05	98.27	100.1	3.32
200	111.6	105.7	104.8	107.4	3.707
210	119	114.1	112.5	115.2	3.362
220	127.3	122.7	120.2	123.4	3.636
230	134.7	131.2	128.2	131.4	3.23
240	143.2	139.9	135.9	139.7	3.66
250	151.5	148.5	144	148	3.766
260	159.2	158.2	152	156.5	3.919
270	167.9	167.2	160.5	165.2	4.064
280	175.8	177	169.2	174	4.22
290	184.3	187.1	178.1	183.2	4.594
300	192.9	196.4	187.3	192.2	4.585
310	201.6	206.1	197.7	201.8	4.228
320	211.6	216.3	207.8	211.9	4.245
330	221.6	224.4	215.5	220.5	4.517
340	230.4	232.3	223.3	228.7	4.747
350	238.6	240.3	231.6	236.8	4.581
360	245.7	248	241	244.9	3.54
370	253.2	256.5	250.8	253.5	2.863
380	259.7	264.2	262	262	2.257
390	265.1	271.9	272.9	270	4.22
400	271.1	279.2	281	277.1	5.289

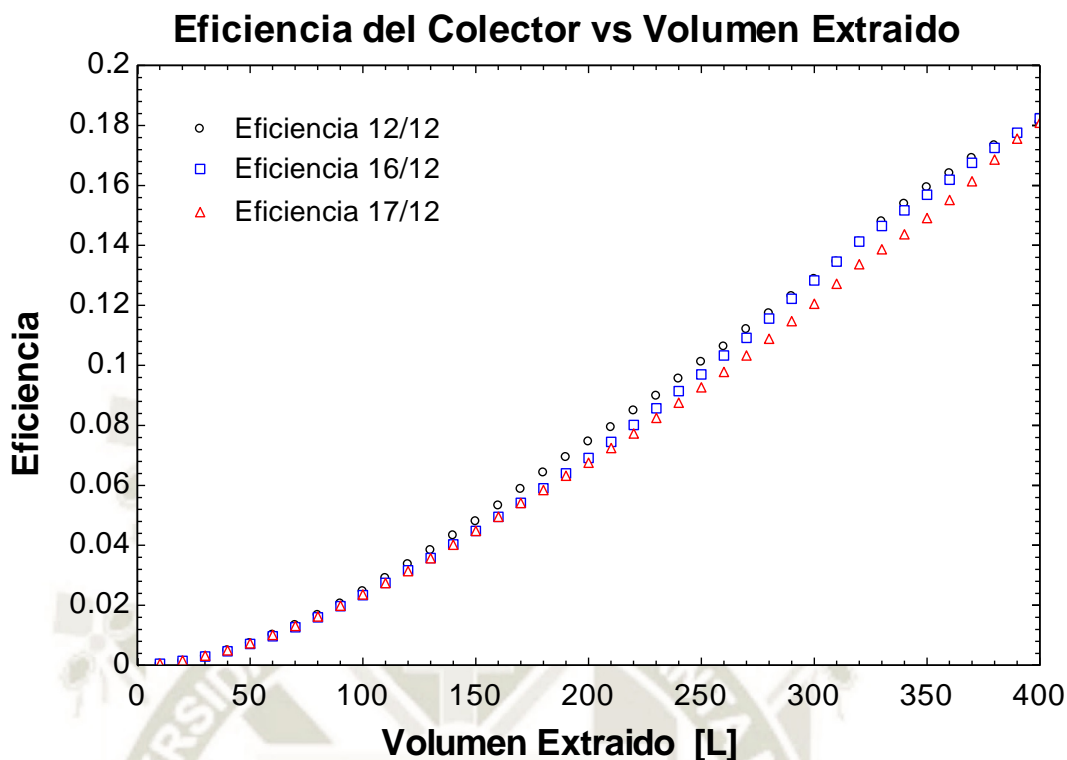


Figura 59: Eficiencia del Colector obtenida durante las mediciones experimentales del rendimiento diario.

En la Figura 59 se grafica la eficiencia del colector sobre el volumen de agua extraído los 3 días de medición de diciembre para ser evaluados. Calculamos la eficiencia con el calor útil obtenido por el colector a lo largo de la medición y los datos obtenidos de la radiación solar incidente en la área del colector por el área de la placa absorbadora, dando la eficiencia del sistema.

Tabla 11: Datos del Calor, Radiación y Eficiencia obtenidos del colector OKSOL 150 el mes de diciembre

Día	Calor Útil [MJ]	Radiación [W/m ²]	Eficiencia (η)
12 de diciembre	271,071	311950.94	0.18103
16 de diciembre	279,16	318979.2	0.18233
17 de diciembre	281,017	323702.48	0.18086

En la Figura 60 y 61 se puede observar la comparación de los 2 ensayos realizados y la mejora al implementar Nanotubos de Carbono en el fluido de trabajo tanto en el Calor Útil y la Eficiencia.

Comparación del Calor Util en Agosto y Diciembre VS Volumen

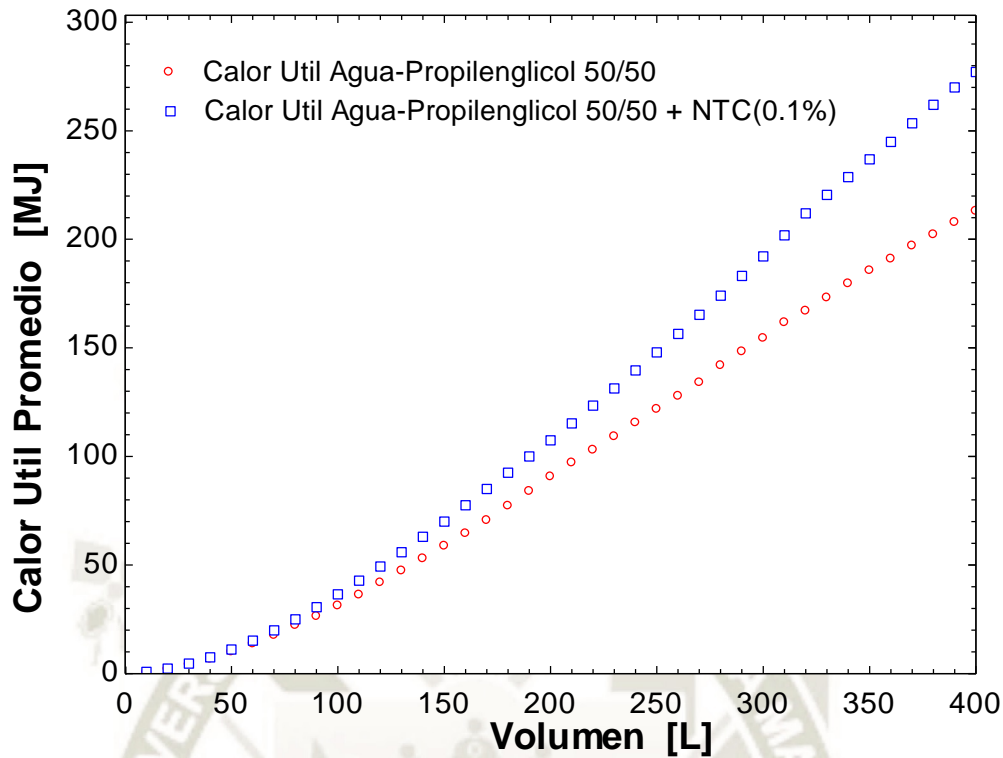


Figura 60: Comparación del Calor Útil de los dos ensayos realizados

Comparación de la eficiencia en Agosto y Diciembre VS Volumen

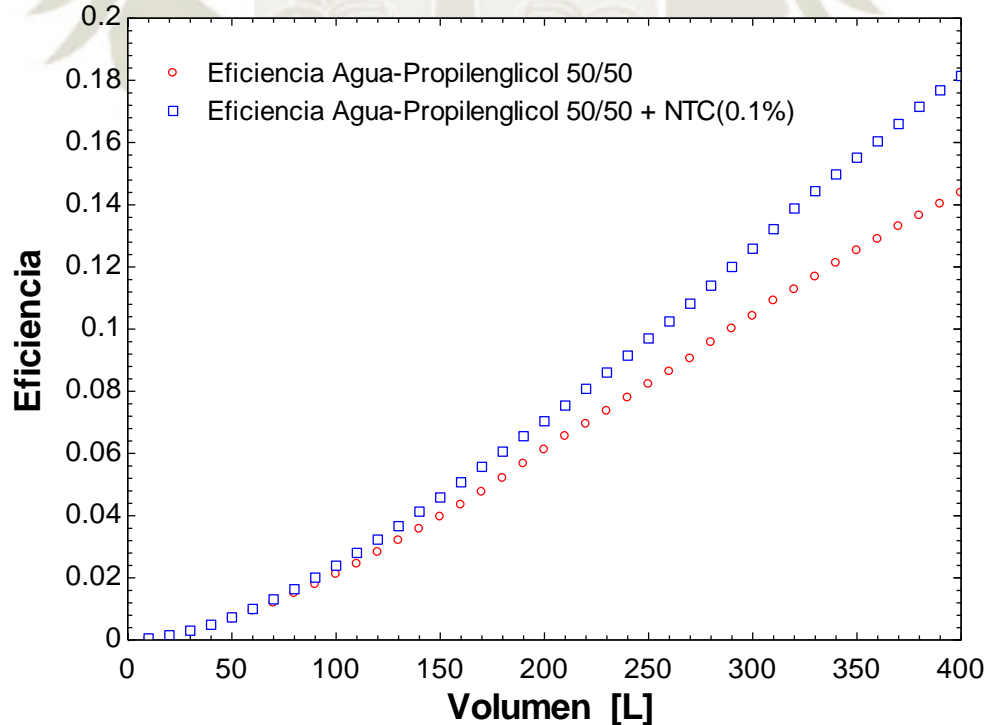


Figura 61: Comparación de la eficiencia de los dos ensayos realizados

CAPITULO V: CONCLUSIONES

1. Para una concentración de 0.1% de Nanotubos en base de propilenglicol con agua, se obtiene un incremento de 5% en la eficiencia del sistema. También se incrementó el Calor Útil lo que comprueba las investigaciones realizadas anteriormente, respecto a la capacidad térmica de los nanotubos de carbono.
2. El uso del método de Ultrasonido para la homogenización de la mezcla de nanofluido, presenta un inconveniente, que es la velocidad de circulación del fluido, siendo este un factor que favorece la sedimentación de las nanoparticulas en la mezcla. Este problema se resolvería agregando un elemento tensoactivo al nanofluido.
3. El incremento del Calor Útil en el ensayo que se realizó en diciembre al agregar nanotubos de carbono a la mezcla de agua con propilenglicol es de 90 MJ respecto al promedio del Calor Útil en el ensayo de agosto.
4. El estudio de la temperatura en el interior del colector usando termopares, permite observar el funcionamiento interno de un colector con tanque integrado y ver la zona donde llega a mayor temperatura el agua, así como la transferencia por convección que hay entre el absorbedor y el tanque de agua.

REFERENCIAS

- Adriano, R. (2016). *Análisis numérico de sistemas compactos de calentamiento de agua con energía solar*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE CIENCIAS. Retrieved from <https://bit.ly/2SkIBCn>
- Bhattad, A., Sarkar, J., & Ghosh, P. (2018). Improving the performance of refrigeration systems by using nanofluids: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(November 2017), 3656–3669. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.097>
- Colangelo, G., Favale, E., Milanese, M., de Risi, A., & Laforgia, D. (2017). Cooling of electronic devices: Nanofluids contribution. *Applied Thermal Engineering*, 127, 421–435. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.08.042>
- Elsheikh, A. H., Sharshir, S. W., Mostafa, M. E., Essa, F. A., & Ahmed Ali, M. K. (2018). Applications of nanofluids in solar energy: A review of recent advances. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(October 2017), 3483–3502. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.108>
- Esumi, K., Ishigami, M., Nakajima, A., Sawada, K., & Honda, H. (1996). Chemical treatment of carbon nanotubes. *Carbon*, 34(2), 279–281. [https://doi.org/10.1016/0008-6223\(96\)83349-5](https://doi.org/10.1016/0008-6223(96)83349-5)
- Garg, P., Alvarado, J. L., Marsh, C., Carlson, T. A., Kessler, D. A., & Annamalai, K. (2009). An experimental study on the effect of ultrasonication on viscosity and heat transfer performance of multi-wall carbon nanotube-based aqueous nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(21–22), 5090–5101. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2009.04.029>
- Ji, T., Feng, Y., Qin, M., & Feng, W. (2016). Thermal conducting properties of aligned carbon nanotubes and their polymer composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 91, 351–369. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.10.009>
- Kebllinski, P. (2002). Mechanisms of heat low in suspensions of nano-sized particles nano fluids). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45, 855–863.
- Kim, H., Kim, J., & Cho, H. (2017). Review of Thermal Performance and Efficiency in Evacuated Tube Solar Collector with Various Nanofluids. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 25(02), 1730001. <https://doi.org/10.1142/S2010132517300014>

- Kipp & Zonen. (2010). Manual de Usuario serie CMP. *Kipp & Zonen User Manual*, 35. Retrieved from www.kippzonen.com
- Kumar, D. S., & Elansezhian, R. (2012). Experimental Study on Al₂O₃-R134a Nano Refrigerant in Refrigeration System. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 2(5), 3927–3929.
- Kumar, V., Tiwari, A. K., & Ghosh, S. K. (2015). Application of nanofluids in plate heat exchanger: {A} review. *Energy Conversion and Management*, 105(4), 1017–1036. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.08.053>
- Lee, S., Choi, S. U.-S., Li, S., & Eastman, J. A. (1999). Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles. *Journal of Heat Transfer*, 121(2), 280. <https://doi.org/10.1115/1.2825978>
- Leong, K. Y., Ong, H. C., Amer, N. H., Norazrina, M. J., Risby, M. S., & Ku Ahmad, K. Z. (2016). An overview on current application of nanofluids in solar thermal collector and its challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1092–1105. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.060>
- Li, Y., Zhou, J., Tung, S., Schneider, E., & Xi, S. (2009). A review on development of nanofluid preparation and characterization. *Powder Technology*, 196(2), 89–101. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2009.07.025>
- Mahbubul, I. M., Saidur, R., & Amalina, M. A. (2013). Heat transfer and pressure drop characteristics of Al₂O₃-R141b nanorefrigerant in horizontal smooth circular tube. *Procedia Engineering*, 56, 323–329. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.126>
- Marrón Matta, C. A. (2018). Obtención De Nanofluidos A Partir De Nanotubos De Carbono En Agua Deionizada Como Fluido Base, 1–124. Retrieved from <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/7871>
- Murshed, S. M. S., & Nieto de Castro, C. A. (2016). Conduction and convection heat transfer characteristics of ethylene glycol based nanofluids – A review. *Applied Energy*, 184, 681–695. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.017>
- Naderi, M. (2016). Nano Fluid in Water as Base Fluid in Flat-Plate Solar Collectors with an Emphasis on Heat Transfer. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(31). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i31/90341>
- Nagarajan, P. K., Subramani, J., Suyambazhahan, S., & Sathyamurthy, R. (2014).

- Nanofluids for solar collector applications: A review. *Energy Procedia*, 61, 2416–2434. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.017>
- Orkli. (2012). Catalogo Tecnico Oksol -150. *Orkli S. Coop.*, 11. Retrieved from <https://www.orkli.com/es/web/confort-calefaccion/solar-termico>
- Orkli. (2016). Sistema Todo en Uno - Oksol-150. *Orkli S. Coop.*, 4–11. Retrieved from <http://www.intercambiosvirtuales.org/category/todo-en-uno>
- Paradise, M., & Goswami, T. (2007). Carbon nanotubes - Production and industrial applications. *Materials and Design*, 28(5), 1477–1489. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.03.008>
- Reddy, K. S., Kamnapure, N. R., & Srivastava, S. (2016). Nanofluid and nanocomposite applications in solar energy conversion systems for performance enhancement: a review. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, (April 2016), ctw007. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctw007>
- Rivas Martínez, M. J., Ganzer, J. R., & Cosme Huertas, M. L. (2010). *Aplicaciones actuales y futuras de los nanotubos de carbono*.
- Santana, C. (2013). *Funcionalización de nanotubos de carbono para aplicaciones medicas*. CIMAV. Tesis como requisito para obtener el grado de Maestría en Ciencias de Materiales.
- Singh, R., Lazarus, I. J., & Souliotis, M. (2016). Recent developments in integrated collector storage (ICS) solar water heaters: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 270–298. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.006>
- Smyth, M., Eames, P. C., & Norton, B. (2006). Integrated collector storage solar water heaters. *Renewable and Sustainable Energy ...*, 10(6), 503–538. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.11.001>
- Solarorkli. (2012). Panel Solar Con Depósito Integrado S Oksol-150 Installation Manual. *Orkli S. Coop.*, 5–19. Retrieved from <https://www.orkli.com/es/web/confort-calefaccion/solar-termico>
- Soliman, Taher, Abdel-Rahman, & O. (2015). Cycle Using Nano Materials. *2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 5, 821–826. <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2015.7418526>
- Sumio Lijima. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, 354, 56–58.

- Sun, C. F., Meany, B., & Wang, Y. H. (2014). *Characteristics and Applications of Carbon Nanotubes with Different Numbers of Walls. Carbon Nanotubes and Graphene: Edition 2* (Second Edi). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098232-8.00013-9>
- Villalba, E. (2018). Simulación de un Sistema de Refrigeración por Compresión de Vapor Usando Nanofluidos como Fluido Secundario,16-17. Retrieved from <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8929>
- Vishalkumar G, B., & Panchal, K. D. (2015). Nanofluid : A Tool to Increase the Efficiency of Solar Collector.
- Yazid, M. N. A. W. M., Sidik, N. A. C., & Yahya, W. J. (2017). Heat and mass transfer characteristics of carbon nanotube nanofluids: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80(July 2016), 914–941. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.192>
- Yousefi, T., Veisy, F., Shojaeizadeh, E., & Zinadini, S. (2012). An experimental investigation on the effect of MWCNT-H₂O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 39, 207–212. <https://doi.org/10.1016/J.EXPTHERMFLUSCI.2012.01.025>
- Yu, W., & Xie, H. (2012). A review on nanofluids: Preparation, stability mechanisms, and applications. *Journal of Nanomaterials*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/435873>