



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y
VINCULACIÓN CON LA COLECTIVIDAD**

CENTRO DE POSGRADO

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

**MAESTRIA EN ENERGÍAS RENOVABLES
III PROMOCIÓN**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**TEMA: “ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE
COLECTORES EN ESPIRAL PARA EL CALENTAMIENTO DE
UNA PISCINA DE 125 m³ AISLADA CON MANTA TÉRMICA”**

**AUTOR: ING. CHECA YANEZ, DIEGO EFRAÍN
DIRECTOR: ING. IBARRA JÁCOME, ALEXANDER, MSc.**

**SANGOLQUÍ
2015**

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

El suscrito Tutor Ing. Alexander Ibarra, MSc., de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad No. 1719535427, en calidad de Director de Tesis de la Maestría en Energías Renovables,

CERTIFICA

Que el presente proyecto de grado que lleva como título, “ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE COLECTORES EN ESPIRAL PARA EL CALENTAMIENTO DE UNA PISCINA DE 125 m³ AISLADA CON MANTA TÉRMICA” realizado por el Ing. Diego Efraín Checa Yáñez, de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad No. 1714880778, como requisito para la obtención del título de Magíster en Energías Renovables, III Promoción de la ESPE, fue desarrollada bajo mi dirección y asesoría. La misma que cumple con los requerimientos científicos, tecnológicos y académicos, razón por la cual autorizo su presentación y defensa.

Sangolquí, 27 de abril de 2015



Ing. Alexander Ibarra, MSc.
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

DIEGO EFRAÍN CHECA YÁNEZ

DECLARA QUE:

Este proyecto de investigación de posgrado, denominado "ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE COLECTORES EN ESPIRAL PARA EL CALENTAMIENTO DE UNA PISCINA DE 125 m³ AISLADA CON MANTA TÉRMICA", ha sido elaborado con base a una investigación bibliográfica y técnica, respetando los derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al en las referencias bibliográficas, cuyas fuentes citadas, se incorporan en este documento.

Consecuentemente este trabajo de tesis de grado de magíster en Energías Renovables, es de mi autoría intelectual.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto en mención.

Sangolquí, 27 de abril de 2015



DIEGO EFRAÍN CHECA YÁNEZ
AUTOR

AUTORIZACIÓN

Yo,

ING. DIEGO EFRAÍN CHECA YÁNEZ

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, del artículo científico correspondiente al proyecto de investigación de posgrado denominado "ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE COLECTORES EN ESPIRAL PARA EL CALENTAMIENTO DE UNA PISCINA DE 125 m³ AISLADA CON MANTA TÉRMICA", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 27 de abril de 2015



DIEGO EFRAÍN CHECA YÁNEZ

AUTOR

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado

A mis hijos Dieguito y María Emilia por ser la fuerza para continuar luchando día a día, buscando ser un mejor padre y amigo para ellos.

A mi esposa por ser un apoyo incondicional para continuar con mi crecimiento profesional.

A mis padres y hermanos por brindarme siempre su amor y paciencia.

Diego Checa Yáñez

Abril, 2015

AGRADECIMIENTOS

A mi esposa e hijos por darme su valioso tiempo para dedicarme al desarrollo de este proyecto.

A mis padres que son las personas que me han inculcado ser una persona de bien, apoyado siempre con la bendición de Dios y la Virgen Santísima.

A mis hermanos que son las personas que me han apoyado en todo momento.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE que están formando líderes emprendedores, al Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica por tener la visión a futuro para buscar alternativas con las Energías Renovables.

A mis amigos, profesores que han colaborado con esta investigación, aportando con sus valiosos conocimientos.

Diego Checa Yáñez

Abril, 2015

**“ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE COLECTORES EN
ESPIRAL PARA EL CALENTAMIENTO DE UNA PISCINA DE 125 m³
AISLADA CON MANTA TÉRMICA”**

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
LEGALIZACIÓN.....	iii
DECLARACIÓN.....	iv
AUTORIZACIÓN.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
NOMENCLATURA.....	xiv
RESUMEN	xvi
INTRODUCCIÓN.....	xvii

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Definición del problema.....	2
1.3.	Objetivos.....	3
1.3.1.	General.....	3
1.3.2.	Específicos	3
1.4.	Alcance	3
1.5.	Justificación e importancia de la investigación.	4

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1.	Geometría del colector en espiral	5
2.1.1.	Captadores parabólicos	5
2.1.2.	Tubos concéntricos	6
2.2.	Balance energético de la cubierta de PET	6
2.3.	Balance energético del tubo absorbedor de polietileno	9
2.4.	Modelación matemática del calentador con EDP	12
2.5.	Radiación solar incidente en el captador	16
2.6.	Análisis energético de la piscina	16
2.7.	Análisis hidráulico del colector en espiral	19

CAPITULO 3

ESTADO DEL ARTE DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO

3.1.	Calentadores con tubos de polietileno	20
3.2.	Colectores con cilindros de polietileno transparente	21
3.3.	Calentadores con tubos de cobre	21
3.4.	Calderos para quemar diésel y propano	23
3.5.	Calentamiento por combustión de biomasa	23
3.6.	Bomba de calor	24
3.7.	Calentadores eléctricos	24

CAPITULO 4

DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1.	Parámetros de ensayo	26
4.2.	Características técnicas del sistema energético	28
4.2.1.	Colector Parabólico	28
4.2.2.	Piscina	30
4.3.	Instalación, Instrumentos y equipos de medición	31

4.3.1.	Instalación	31
4.3.2.	Instrumentos de medición	32
4.4.	Procedimiento de pruebas	35
4.5.	Toma de datos.....	36

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE DATOS

5.1.	Tabulación	37
5.2.	Estadísticas del proceso	79
5.3.	Caracterización energética de la piscina y captadores	88
5.4.	Proyecciones futuras	98

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.	CONCLUSIONES.....	99
6.2.	RECOMENDACIONES	100

BIBLIOGRAFIA.....	101
-------------------	-----

ANEXOS.....	104
-------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	Campo de colectores parabólicos en Tunas y Cabras.....	5
FIGURA 2	Tubos concéntricos espaciados (Manguera y PET).....	6
FIGURA 3	Balance energético tubo absorbedor y PET.....	7
FIGURA 4	Balance energético calentador.....	12
FIGURA 5	Modelo termo físico de una piscina	17
FIGURA 6	Instalación con colectores, Heliocol, México.....	20
FIGURA 7	Piscina con calentador de tubos de polietileno.....	21
FIGURA 8	Calentador de piscinas, Pasadena.....	22
FIGURA 9	Piscina en Azcapotzalco México, 2010.....	22
FIGURA 10	Calderos para calentamiento de piscinas.....	23
FIGURA 11	Calentador por combustión de leña seca.....	23
FIGURA 12	Sistema experimental calentamiento de piscinas.....	24
FIGURA 13	Calentador eléctrico para piscinas.....	25
FIGURA 14	Calentador solar parabólico con tubos en espiral y piscina.....	25
FIGURA 15	Colector Parabólico (Imbabura, Pimán, 2015).....	29
FIGURA 16	Piscina de 125 m ³	30
FIGURA 17	Calentador solar parabólico con tubos en espiral y piscina.....	32
FIGURA 18	Instrumentos de medición de la radiación solar.....	33
FIGURA 19	Instrumentos de medición de las condiciones ambientales.....	34
FIGURA 20	Instrumentos para verificación de temperatura del sistema energético.....	35
FIGURA 21	Curvas de radiación solar, ensayo 1.....	39
FIGURA 22	Curvas de irradiancia del colector y solar global, ensayo 1.....	40
FIGURA 23	Curvas de temperaturas del colector solar parabólico,..... ensayo 1.....	41
FIGURA 24	Curvas de temperatura del colector, ensayo 1.....	42
FIGURA 25	Curvas de eficiencia energética del colector, ensayo 1.....	43
FIGURA 26	Curvas de temperatura de ingreso de agua caliente,..... ensayo 1.....	45
FIGURA 27	Curvas de temperatura de la piscina, ensayo 1.....	46
FIGURA 28	Curvas de radiación solar, ensayo 2.....	48

FIGURA 29	Curvas de irradiancia del colector y solar global, ensayo 2.....	49
FIGURA 30	Curvas de temperaturas del colector solar parabólico,..... ensayo 2.....	50
FIGURA 31	Curvas de temperaturas del colector, ensayo 2.....	51
FIGURA 32	Curva de eficiencia energética del colector, ensayo 2.....	52
FIGURA 33	Curvas de temperatura de ingreso de agua caliente,..... ensayo 2.....	54
FIGURA 34	Curvas de temperatura de la piscina, ensayo 2.....	55
FIGURA 35	Curvas de radiación solar, ensayo 3.....	57
FIGURA 36	Curvas de irradiancia del colector y solar global, ensayo 3.....	58
FIGURA 37	Curvas de temperaturas del colector solar parabólico,..... ensayo 3.....	59
FIGURA 38	Curvas de temperaturas del colector, ensayo 3.....	60
FIGURA 39	Curva de eficiencia energética del colector, ensayo 2.....	61
FIGURA 40	Curvas de temperatura de ingreso de agua caliente,..... ensayo 3.....	63
FIGURA 41	Curvas de temperatura de la piscina, ensayo 3.....	64
FIGURA 42	Curvas de radiación solar, ensayo 4.....	66
FIGURA 43	Curvas de irradiancia del colector y solar global, ensayo 4.....	68
FIGURA 44	Curvas de temperaturas del colector solar parabólico,..... ensayo 4.....	69
FIGURA 45	Curvas de temperaturas del colector, ensayo 4.....	70
FIGURA 46	Curva de eficiencia energética del colector, ensayo 4.....	71
FIGURA 47	Curvas de temperatura de ingreso de agua caliente,..... ensayo 4.....	73
FIGURA 48	Curvas de temperatura de la piscina, ensayo 4.....	75
FIGURA 49	Curvas de radiación solar.....	80
FIGURA 50	Curvas de irradiancia del colector y solar global.....	81
FIGURA 51	Curvas de temperaturas del colector solar parabólico.....	82
FIGURA 52	Curvas de temperatura del colector.....	84
FIGURA 53	Curvas de eficiencia energética del colector.....	85

FIGURA 54 Curvas de temperatura de salida del agua caliente.....86
FIGURA 55 Curvas de temperatura de la piscina.....87
FIGURA 56 Curva de temperatura de enfriamiento de la piscina.....89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Promedios de parámetros energéticos.....	36
Tabla 2	Parámetros energéticos del Calentador Parabólico y Radiación Solar Local, Ensayo 1.....	38
Tabla 3	Parámetros energéticos de la piscina y del ambiente,..... Ensayo 1.....	44
Tabla 4	Parámetros energéticos del Calentador Parabólico y Radiación Solar Local, Ensayo 2.....	47
Tabla 5	Parámetros energéticos de la piscina y del ambiente,..... Ensayo 2.....	53
Tabla 6	Parámetros energéticos del Calentador Parabólico y Radiación Solar Local, Ensayo 3.....	56
Tabla 7	Parámetros energéticos de la piscina y del ambiente,..... Ensayo 3.....	62
Tabla 8	Parámetros energéticos del Calentador Parabólico y Radiación Solar Local, Ensayo 4.....	65
Tabla 9	Parámetros energéticos de la piscina y del ambiente,..... Ensayo 4.....	72
Tabla 10	Parámetros energéticos del Calentador Parabólico y Radiación Solar Local, Ensayo 5.....	76
Tabla 11	Parámetros energéticos de la piscina y del ambiente,..... Ensayo 5.....	78
Tabla 12	Comparación de eficiencias energéticas de colectores solares.....	85
Tabla 13	Valores de temperatura de la piscina.....	88
Tabla 14	Resumen parámetros energéticos.....	97
Tabla 15	Comparación de pérdidas de calor de la piscina.....	98

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	Curvas de parámetros de colector y piscina
ANEXO 2	Datos de la Radiación de la Nasa para Tunas y Cabras
ANEXO 3	Recurso Solar
ANEXO 4	Localización geográfica del sitio del experimento
ANEXO 5	Mediciones
ANEXO 6	Medición horas de sol

NOMENCLATURA

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
η_c	Eficiencia de colectores	%
FR	Factor de remoción del calor	
Q_{pool}	Calor necesario para calentar el agua de la piscina	Wt
Q_{col}	Calor útil aportado por los colectores parabólicos	Wt
Q_p	Calor perdido por la piscina	
I_g	Irradiancia solar global	W/m ²
I_a	Albedo	W/m ²
I_s	Irradiancia de la superficie del colector	W/m ²
I_d	Irradiancia difusa de la bóveda celeste	W/m ²
V_w	Velocidad del viento	m/s
T_a	Temperatura ambiente	°C
T_h	Temperatura de ingreso de agua caliente a la piscina	°C
T_s	Temperatura de la superficie libre del liquido	°C
T_p	Temperatura de pared	°C
T_{man}	Temperatura de manguera	°C
T_{bot}	Temperatura del PET	°C
T₁	Temperatura de entrada de agua al colector	°C
T₂	Temperatura de salida de agua al colector	°C
HR	Humedad relativa	%

T	Transmisividad del PET	
A	Absortancia de la pintura negra mate	
K	Factor de suciedad y sombra	
F	Factor de forma del colector	
γ	Factor de aberraciones ópticas e imperfecciones superficiales	
UL	Coefficiente global de transferencia de calor	W/m ² °C

RESUMEN

El presente proyecto consiste en la caracterización energética de una piscina con una capacidad de 125 m³ localizada en Pimán, provincia de Imbabura los datos del dimensionamiento básico de los 6 calentadores de forma parabólica con tuberías en espiral, con respecto al absorbedor, tienen una potencia de 60 KWt y el cilindro de Polyethylene Terephtalate (PET) puede captar hasta 9 Wt. Durante la validación de cuatro colectores, estos tienen un aporte de 40 KWt y la cubierta transparente unitaria alcanza los 6 Wt para una irradiancia solar de 616.9 W/m². Cada uno de los captadores tiene un área referencial de 32 m², donde se encuentran distribuidos 300 m de tubo de polietileno, acoplados con 1000 botellas. La eficiencia energética de los colectores alcanza el 47 %, valor inferior al 50% que corresponde al rendimiento de los calentadores fabricados con tubería de cobre. Sin embargo se puede indicar que esta tecnología ha sido implementada con materiales de fabricación nacional y de bajo costo con lo que la relativa diferencia con la eficiencia energética que es del 3% es mínima. Como resultados de esta investigación se ha logrado determinar que 1 m² de colector puede calentar 640 Kg de agua por día, con lo que dada las facilidades de fabricación se recomienda puedan ser implementados en residencias, hogares de escasos recursos económicos, sitios de recreación entre otros.

Palabras clave:

- **CALENTADOR**
- **PARABÓLICO**
- **BÓVEDA**
- **PISCINA**
- **ABSORVEDOR**

ABSTRACT

This project involves the energy characterization of a pool with a capacity of 125 m³ PIMAN located in the province of Imbabura basic dimensioning data 6 parabolic heaters spiral pipes with respect to the absorber, have a power of 60 KWt and cylinder Terephtalate Polyethylene (PET) can capture up to 9 Wt. During the validation of four collectors, these are a contribution of 40 KWt and the transparent cover unit reaches 6 Wt for a solar irradiance of 616.9 W/m². Each of the sensors has a reference area of 32 m², which are distributed 300 m of polyethylene tubing, coupled with 1000 bottles. The energy efficiency of the collector reaches 47%, 50% lower value corresponding to the performance of heaters made of copper tubing. However it may indicate that this technology been implemented locally manufactured materials and inexpensive so that the relative difference to energy efficiency which is 3% is minimal. As a result of this research has been determined that 1 m² of collector can heat 640 Kg of water per day, which given the ease of manufacture is recommended can be implemented in nursing homes, homes with limited economic resources, recreational sites etc. .

Keywords:

- HEATER
- PARABOLIC
- DOME
- POOL
- ABSORBER

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE COLECTORES EN ESPIRAL PARA EL CALENTAMIENTO DE UNA PISCINA DE 125 m³ AISLADA CON MANTA TÉRMICA

En el estado del arte se dispone de diversas tecnologías para el calentamiento de piscinas, se pueden encontrar calentadores de tubos de polipropileno ensamblados en Israel, calentadores de tubos transparentes que se colocan sobre la superficie libre de líquido; en forma tradicional se ha venido utilizando el calor producido por derivados de combustibles fósiles tales como diesel, propano, butano, entre otros. Además, también se puede utilizar el calor de combustión de la leña. Sin embargo, estos últimos procesos son contaminantes por que generan CO y CO₂. Por otra parte la quema de biomasa origina afectación y depredación de bosques naturales o cultivos. Dentro del ámbito energético para calentar grandes volúmenes de agua se puede utilizar calentadores con resistencias eléctricas, bombas de calor, constituyéndose esta última en una posibilidad de aprovechamiento eficiente de la energía. Por otra parte, cuando se realiza el dimensionamiento de las piscinas se debe considerar la energía térmica que pierde por evaporación, convección, radiación, conducción, este calor perdido debe ser suministrado por las diversas fuentes energéticas disponibles. En los últimos años debido a los costos y escases de los combustibles fósiles han aparecido tecnologías de calentamiento que tienen mayor o menor rendimiento energético sin embargo, requieren inversiones altas. Con este antecedente en Pimán Alto localizado en la provincia de Imbabura se han instalado un grupo de 6 calentadores parabólicos con tubos en espiral, utilizando materiales locales, con lo que se ha conseguido reducir los costos de inversión. Es en este nuevo modelo de calentador, donde se realiza esta investigación para determinar los parámetros de funcionamiento del sistema tales como temperatura, recurso energético, condiciones ambientales y temperaturas de confort. Con los resultados obtenidos se realiza su homologación y validación experimental.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

El conocimiento de las pérdidas de calor de las piscinas es muy importante en el diseño del calentador (Douglass E. Root Jr, 1959). Si se utiliza el recurso solar como energía primaria es necesario conocer la radiación y la climatología del lugar. Al hacer referencia al sistema de calentamiento de la piscina de Tunas y Cabras, localizada en el sector PIMAN, de la provincia de Imbabura, que es objeto de esta investigación, se puede indicar que el calentador solar instalado tiene una nueva configuración geométrica y utiliza materiales de fabricación nacional. Por lo que, para su validación, es necesario realizar estudios que permitan caracterizar los parámetros energéticos de la instalación. Además, para la operación eficiente de una piscina, se debe implementar un adecuado sistema de control de temperaturas y bombeo hidráulico (Cunio L.N., 2012). Por otra parte, en 1970, The Cooper Development Association, (CDA) auspició la preparación del primer manual para calentamiento de piscinas. Posteriormente se elaboró el (CTE) Código Técnico de la Edificación, Norma Española que permite determinar la temperatura de confort para piscinas, que como mínimo se requiere los 28 °C.

Con este parámetro de referencia, se ha procedido a realizar el dimensionamiento básico de colectores parabólicos, para su posterior

implementación en la piscina de PIMAN. Este proyecto de innovación, fue desarrollado por parte de investigadores del DECEM, del área de Energías Renovables. Como una contribución a lo anteriormente ejecutado, en el presente estudio se propone analizar el comportamiento energético del calentador y la piscina, mediante técnicas de medición de parámetros y análisis con procedimientos de transferencia de calor.

1.2. Definición del problema

En forma tradicional, los sistemas de calentamiento de piscinas, utilizan combustibles fósiles, que mediante procesos de combustión generan energía térmica, la temperatura de proceso, es 1100 °C, cuando se quema propano; 900 °C con diésel, 850°C si quema biomasa. Estas altas temperaturas, distan mucho de la baja temperatura que se requiere para calentar el agua de las piscinas hasta alcanzar la temperatura de confort, mínimo que es 28°C. Además, los combustibles fósiles, son deficitarios y contaminantes. Por lo tanto, en los últimos 15 años, se han implementado otro tipo de tecnologías para calentar piscinas, como es el caso del calentador de tubos de polipropileno de alta densidad, especialmente los de marca Heliocol (Israel). Sin embargo, cualquier tecnología que se utilice ocasiona altos costos de implementación. Como una alternativa energética que permite el uso de la energía solar, como fuente primaria, se desarrolló en el Sector de Pimán, un nuevo sistema para el calentamiento de una piscina de 125 m³. Luego de su implementación, hace falta la validación y el análisis energético de los captadores parabólicos y la piscina, mediante mediciones y estudios de campo, que permitan caracterizar este tipo de tecnologías alternativas, por lo que, en esta investigación, se propone evaluar los parámetros de funcionamiento, a fin de encontrar la relación fundamental área de captación en colectores con respecto al volumen de acumulación y la temperatura de confort.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Realizar el análisis energético de un sistema de calentadores en espiral para el calentamiento de una piscina de 125 m³, utilizando como medio aislante una manta térmica que reduce las pérdidas de calor en la superficie del líquido.

1.3.2. Específicos

- Realizar las mediciones de los parámetros energéticos de los colectores parabólicos en espiral, piscina de 125 m³, y la radiación solar local incidente sobre estas instalaciones
- Desarrollar los modelos matemáticos que permitan analizar el comportamiento energético de los colectores parabólicos y la piscina
- Caracterizar el área de captación de los colectores con respecto al volumen de acumulación hasta alcanzar la temperatura de confort de 28°C.

1.4. Alcance

En la presente investigación relacionada con el estudio del comportamiento energético de los captadores en espiral y la piscina de ACS, se va a realizar la modelación matemática de la cubierta cilíndrica transparente de PET, del tubo de polietileno y el balance energético de la piscina. En los procedimientos de cálculo de las variables energéticas, utilizarán métodos analíticos y programas informáticos (MATH CAD). Este trabajo de investigación se debe complementar con la medición en campo de la radiación solar, temperaturas del fluido del colector, temperaturas de la piscina. Estos parámetros permitirán caracterizar el funcionamiento de la piscina, área de captación, temperatura de confort.

1.5. Justificación e importancia de la investigación.

El desarrollo de este proyecto se justifica, en vista de que los resultados de esta investigación puedan servir como especificaciones técnicas para la implementación a gran escala de nuevos sistemas de calentamiento de agua con energía solar, que utilizan materiales locales, de bajo costo y alto rendimiento energético, en aplicaciones de baja temperatura, inferior a 100°C. Además, se pretende contribuir al fortalecimiento de la matriz energética nacional, dado que este tipo de modelos de captación solar, permiten calentar grandes volúmenes de fluido que pueden ser utilizados en los sectores productivos para procesos de precalentamiento de agua, piscinas, centros de recreación, hospitales, complejos deportivos. Así como también, para generalizar el uso de ACS en hogares de bajos recursos económicos, que aun en la actualidad no tienen acceso a este servicio básico. En el ámbito académico, el desarrollo de esta investigación permitirá publicar documentos técnicos y científicos de gran relevancia, ya que a nivel Latinoamericano no se dispone de este tipo de desarrollos tecnológicos alternativos, que permitan aprovechar de manera eficiente y sustentable, la energía solar.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Geometría del colector en espiral

2.1.1. Captadores parabólicos

Los colectores instalados para el calentamiento solar de la piscina de 125 m³, son de forma parabólica con mangueras curvadas en forma de espiral, y cilindros de PET, que se asemejan a dos tubos concéntricos, de acuerdo a lo que se puede observar en la figura 1. Esta configuración permite captar la radiación solar de toda la bóveda celeste y aumentar el área de transferencia de calor con menor espacio de afectación en la superficie plana del terreno. Además, el agua fría ingresa por la parte inferior del calentador y sale por la parte posterior, aprovechando de forma natural el efecto termosifón, que consiste en que por incremento de temperatura, el fluido menos denso tiende a subir.



Figura 1 Campo de colectores parabólicos en Tunas y Cabras

2.1.2. Tubos concéntricos

El calentador parabólico, se forma con dos tubos concéntricos, el interior de polietileno que se conoce como absorbedor, por donde circula el agua, y la envolvente o cubierta de PET, colocada en segmentos de 25 cm de longitud. Entre la cubierta semitransparente y la tubería de color negro, se forma un espacio anular con aire estancado, es en esta zona donde se produce el efecto invernadero, que consiste en captar la radiación de onda corta inferior a $3 \mu_m$, y reducir la salida de radiación de onda larga. Además, disminuyen las pérdidas de calor por convección al ambiente. En la figura 2, se puede observar el esquema del acoplamiento entre la botella de PET y el tubo de polietileno.

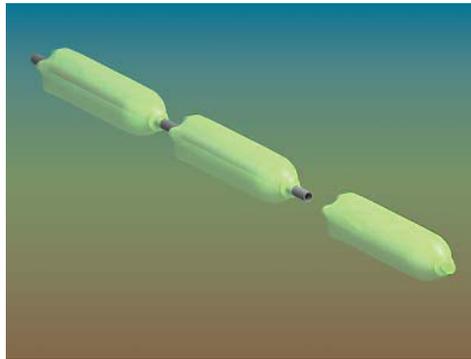


Figura 2 Tubos concéntricos espaciados (Manguera y PET)

2.2. Balance energético de la cubierta de PET

Los flujos de energía térmica en la cubierta del absorbedor, sin considerar acumulación de calor, se definen de la siguiente manera:

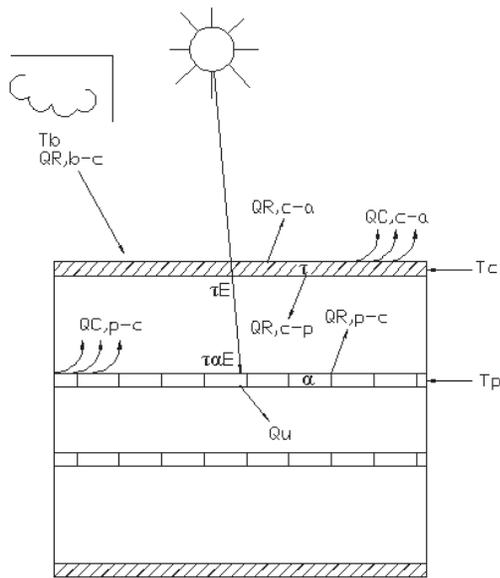


Figura 3 Balance energético tubo absorbedor y PET

$$\begin{aligned}
 & \left\{ \begin{array}{l} \text{Radiación difusa} \\ \text{que llega desde} \\ \text{el cielo o bóveda} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Radiación aportada} \\ \text{por el} \\ \text{absorbedor} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Calor de convección} \\ \text{desde el absorbedor} \end{array} \right\} \\
 & = \left\{ \begin{array}{l} \text{Pérdida por} \\ \text{radiación} \\ \text{hacia} \\ \text{el ambiente} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Radiación hacia} \\ \text{el absorbedor} \end{array} \right\} \\
 & + \left\{ \begin{array}{l} \text{Pérdida por convección} \\ \text{hacia el ambiente} \end{array} \right\}
 \end{aligned}$$

En forma matemática la expresión del balance energético de la cubierta semitransparente de Polyethylene Terephthalate (PET) está dado por:

$$Q_{r,b-c} + Q_{r,p-c} + Q_{c,p-c} = Q_{r,c-a} + Q_{r,c-p} + Q_{c,c-a} \quad (2.1)$$

Reemplazando cada uno de los parámetros energéticos:

$$\begin{aligned}
 & \alpha_{pet}(\epsilon_b A c \sigma T_b^4 + \epsilon_p A c \sigma T_p^4) + h_o A c (T_p - T_c) \\
 & = \epsilon_c \cdot A c \cdot \sigma T_c^4 + \epsilon_c \cdot A c \cdot \sigma T_c^4 + h_e \cdot A c (T_p - T_c)
 \end{aligned}$$

Simplificando el área de transferencia de calor, para la cubierta, se tiene:

$$\alpha_{pet}(\epsilon_b \cdot \sigma \cdot T_b^4 + \epsilon_p \cdot \sigma \cdot T_p^4) + h_o(T_p - T_c) = \epsilon_c \cdot \sigma \cdot T_c^4 + \epsilon_c \cdot \sigma \cdot T_c^4 + h_e(T_c - T_a)$$

Para conseguir:

$$\alpha_{pet}(\epsilon_b \cdot \sigma \cdot T_b^4 + \epsilon_p \cdot \sigma \cdot T_p^4) + h_o(T_p - T_c) = 2\epsilon_c \cdot \sigma \cdot T_c^4 + h_e(T_c - T_a) \quad (2.2)$$

Dónde:

ϵ_b emisividad del cielo; ϵ_p emisividad del tubo de polietileno; ϵ_c emisividad de la cubierta de PET, h_o , h_e coeficientes de transferencia de calor por convección/radiación para la región anular y el flujo externo de aire; $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ (W/m² K⁴) que corresponde a la constante de Stefan-Boltzmann. α_{pet} absorptancia de la cubierta de PET.

La temperatura de cielo, se obtiene con la ecuación propuesta por Bliss, Whillier y Hottel, donde se considera la temperatura del aire (Duffie & Beckman, 2013) Solar Energy.

$$T_b = T_{aire} - 6 \quad (2.3)$$

Dónde:

T_b temperatura de cielo o bóveda, en °C; T_{aire} Temperatura del aire del ambiente exterior al campo de captadores que funcionan con energía solar.

Coefficiente de convección flujo externo:

Para la convección forzada del aire circundante en el ambiente se tiene la siguiente expresión:

$$h_e = 2.8 + 3V_{viento} \quad (2.4)$$

Dónde:

h_e coeficiente de convección externa, en $W/m^2 \text{ } ^\circ K$; V_{viento} velocidad del viento, en m/s.

2.3. Balance energético del tubo absorbedor de polietileno

Para la tubería, tampoco se considera acumulación de energía, es decir calor que entra es igual al calor que sale del absorbedor.

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{array}{l} \text{Radiación que llega} \\ \text{desde} \\ \text{la cubierta} \\ \text{de PET} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Radiación solar} \\ \text{incidente} \\ \text{en la tubería} \\ \text{de polietileno} \end{array} \right\} \\ & = \left\{ \begin{array}{l} \text{Pérdida de calor} \\ \text{por radiación desde el} \\ \text{absorbedor} \\ \text{hacia la cubierta de PET.} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Pérdida de calor} \\ \text{por convección} \\ \text{hacia la cubierta} \end{array} \right\} \\ & + \left\{ \begin{array}{l} \text{Calor útil para} \\ \text{calentar el agua} \\ \text{de la piscina} \end{array} \right\} \end{aligned}$$

$$\alpha_{polietileno}(Q_{r,c-p} + \tau E Ap) = Q_{r,p-c} + Q_{c,p-c} + Q_{util} \quad (2.5)$$

Reemplazando parámetros energéticos se tiene

$$\alpha_{polietileno}(\varepsilon_c \cdot \sigma \cdot Ap \cdot T_c^4 + \tau E Ap) = \varepsilon_p \cdot \sigma \cdot Ap \cdot T_p^4 + hoAp(Tp - Tc) + Q_{util} \quad (2.6)$$

Para determinar la ganancia de energía instantánea por unidad de tiempo y unidad de área, se utiliza la siguiente ecuación (Wilson J., La Energía Solar, 1982)

$$Q_{util} = A_c F_R [E \tau \alpha_{polietileno} k - U_L (T_2 - T_1)] \quad (2.7)$$

Dónde:

Q_{util} calor útil necesario para calentar el agua, en W; F_R factor de remoción del calor; E irradiancia solar incidente en la tubería de polietileno, en W/m^2 ; τ transmitancia de la cubierta de PET; $\alpha_{\text{polietileno}}$ absortancia de la tubería de polietileno; k factor de sombra y suciedad; U_L coeficiente global de transferencia de calor, en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$; T_1 y T_2 temperaturas de entrada y salida del agua del calentador solar en espiral, A_c área total de la espiral

El colector se asemeja a un cono truncado, por lo que se calcula con la expresión

$$A_c = \frac{\pi}{2} g(D + d) \quad (2.8)$$

Dónde:

A_c área superficial del cono, en m^2 ; D diámetro mayor; d diámetro menor, en m; h altura del cono. El valor de g se determina por

$$g = \sqrt{\left(\frac{D-d}{2}\right)^2 + h^2} \quad (2.9)$$

Reemplazando la expresión (2.7) en (2.6) y considerando que $A_c=A_p$; se tiene:

$$\begin{aligned} & \alpha_{\text{polietileno}}(\epsilon_c \cdot \sigma \cdot T_c^4 + \tau E) \\ & = \epsilon_p \cdot \sigma \cdot T_p^4 + h_o(T_p - T_c) + F_R[k \cdot \tau \cdot \alpha \cdot E - U_L(T_2 - T_1)] \end{aligned}$$

Dónde:

ϵ_c emisividad del PET; T_c temperatura de cubierta o envolvente cilíndrica en material PET; $\alpha_{\text{polietileno}}$ absortancia del absorbedor de polietileno; ϵ_p emisividad de la tubería de polietileno; T_p Temperatura de la tubería, en $^\circ C$; h_o Coeficiente de transferencia de calor por convección y radiación.

Para el caso de la radiación entre cilindros concéntricos, el coeficiente de radiación está dado por:

$$h_r = \frac{\sigma(T_2^2 + T_1^2)(T_2 + T_1)}{\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{(1 - \varepsilon_2)A_1}{\varepsilon_2 A_2}} \quad (2.10)$$

ε_1 emisividad del tubo interior; F_{12} factor de forma; ε_2 emisividad de la cubierta.

Para la convección natural, L.B. Evans y N.E. Stefany demostraron que el calentamiento o enfriamiento en espacios cilíndricos, horizontales o verticales se correlaciona mediante:

$$Nu_{De} = \frac{h_c D_e}{k} = 0.55(Gr_L Pr)^{\frac{1}{4}} \quad (2.11)$$

El número de Grashof es la relación entre fuerza de empuje, para fuerza viscosa.

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_b)L^3}{\gamma^2} \quad (2.12)$$

Por lo que:

$$h_o = h_c + h_r \quad (2.13)$$

h_o coeficiente de transferencia de calor por convección y radiación

Eficiencia energética del calentador en espiral:

Se obtiene mediante la relación entre el calor útil y la radiación solar incidente sobre el área de captación.

$$n = \frac{Q_u}{EA_c} \quad (2.14)$$

2.4. Modelación matemática del calentador con EDP

Ecuación:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{E\pi\alpha d_o}{kA} - \frac{U_i\pi d_i}{kA} (T - T_i) = \frac{1}{\alpha t} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.15)$$

Desarrollo: Modelación matemática

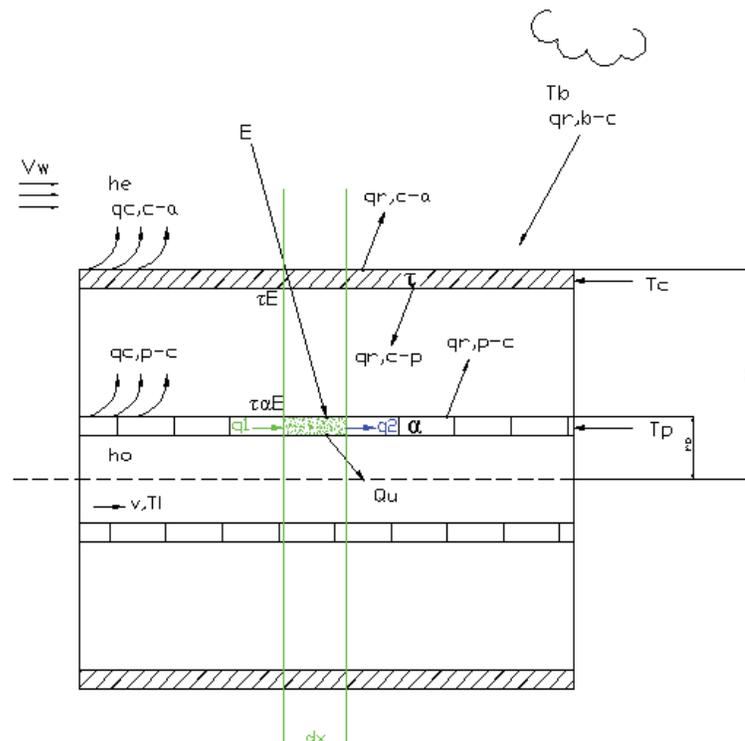


Figura 4 Balance energético calentador

- Calor que entra por conducción al tubo de polietileno:

$$q_x = -k A \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$A_p = \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2)$$

$$A_p = \pi (r_o^2 - r_i^2)$$

Dónde : A_p área de la sección transversal del tubo, m^2 ; k conductividad térmica del polietileno; d_o diámetro exterior de la tubería de polietileno, en m^2 ; d_i diámetro interior de la tubería

Haciendo $A=A_p$ área del tubo de polietileno

- Calor sale por conducción:

$$q_{x+dx} = -k A \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[-k A \frac{\partial T}{\partial x} \right] dx$$

- Calor que entra por radiación directa hacia al tubo:

$$q_R = \tau E \alpha \bar{A} = \tau \alpha E (\pi D_o dx)$$

Dónde: E irradiancia global, en W/m^2 ; τ transmisividad de la cubierta de PET;
 α absortancia de la tubería de polietileno; D_o diámetro exterior del PET.

Coeficiente global de transferencia de calor U_o y U_i

Coeficiente de transferencia de calor externo:

$$U_o = \frac{1}{\frac{R_o}{re h_o} + \frac{R_o \ln(\frac{R_o}{R_i})}{k_c} + \frac{1}{h_e}}$$

Coeficiente global de transferencia de calor hacia el interior:

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_i \ln(\frac{r_o}{r_i})}{k_p}}$$

Dónde: R_o radio exterior del PET; r_e radio equivalente de la región anular; R_i radio interior del PET; k_c conductividad térmica del PET; h_o coeficiente de transferencia de calor por convección, en la región anular; h_e coeficiente de convección externo ($W/m^2^\circ C$).

- Calor que se entrega al agua que atraviesa la tubería de polietileno:

$$q_u = U_i \pi d_i dx (T - T_i)$$

- Calor que sale al ambiente:

$$q_p = U_o \pi D_o dx (T - T_a)$$

Dónde: T_i temperatura del agua que atraviesa el colector; T_a temperatura ambiente

- Calor que se acumula en el tubo de polietileno:

$$q_{ac} = A p dx \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

Donde: ρ densidad del tubo de polietileno; C_p calor específico

Aplicando el principio de conservación de la energía:

Calor entra – Calor sale = Calor acumulado

$$-k \frac{A \partial T}{\partial x} - \left[-k \frac{A \partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(-k \frac{A \partial T}{\partial x} \right) dx \right] + \tau \alpha E \pi d_o dx$$

$$- U_i \pi d_i dx (T - T_i) - U_o \pi D_o dx (T - T_a) = A dx \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$k \frac{A \partial^2 T}{\partial x^2} + \tau \alpha E \pi d_o - U_i \pi d_i (T - T_i) - U_o \pi D_o (T - T_a) = A \rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)$$

$$\therefore \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\tau \alpha E \pi d_o}{k_p A_p} - \frac{U_i \pi d_i (T - T_i)}{k_p A_p} - \frac{U_o \pi d_o (T - T_a)}{k_p A_p} = \frac{1}{\alpha_t} \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\tau \alpha E \pi d_o}{k_p A_p} - \frac{U_i \pi d_i (T - T_i)}{k_p A_p} - \frac{U_o \pi D_o (T - T_a)}{k_p A_p} = \frac{1}{\alpha_t} \frac{\partial T}{\partial t}$$

Tomando en cuenta que algunos términos de la expresión anterior son constantes

$$k_1 = \frac{\tau \alpha E \pi d_o}{k_p A_p}$$

$$k_2 = \frac{U_i \pi d_i}{k_p A_p}$$

$$k_3 = \frac{U_o \pi D_o}{k_p A_p}$$

αt : Difusividad térmica

$$\alpha t = \frac{k}{\rho C_p}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_1 - k_2(T - T_i) - k_3(T - T_a) = \frac{1}{\alpha t} \frac{\partial T}{\partial t}$$

Si se supone que las pérdidas de calor por convección y radiación del tubo hacia el ambiente son despreciables, $k_3(T - T_a) = 0$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_1 - (k_2)(T - T_i) = \frac{1}{\alpha t} \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_1 - k_2(T - T_i) = \frac{1}{\alpha t} \frac{\partial T}{\partial t}$$

La expresión matemática en términos iniciales da:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\tau \alpha E \pi d_o}{k_p A_p} - \frac{U_i \pi d_i (T - T_i)}{k_p A_p} = \frac{1}{\alpha t} \frac{\partial T}{\partial t}$$

Se obtiene una ecuación diferencial parcial de segundo orden con coeficientes constantes, la cual puede ser resuelta por elementos finitos, diferencias finitas, series de Fourier.

Donde E irradiancia solar, en $\frac{W}{m^2}$, τ transmisividad de la cubierta de PET; α absorptancia del tubo de polietileno; d_o diámetro exterior de la tubería de polietileno, en m; k conductividad térmica del tubo absorbedor, A área de la sección transversal del tubo; T_i temperatura del fluido; αt difusividad térmica del material.

2.5. Radiación solar incidente en el captador

La energía solar que se disipa sobre el calentador debe ser estimada considerando tres componentes:

- Radiación Global
- Radiación difusa
- Radiación de albedo

Para lo cual se utiliza la siguiente expresión:

$$I_t = I_g + I_a \quad (2.16)$$

$$I_g = I_b + I_d \quad (2.17)$$

Dónde: I_t irradiancia para cielo isótropo, en $\frac{W}{m^2}$; I_d radiación difusa; I_a radiación de la superficie conocida como albedo; I_b radiación directa.

2.6. Análisis energético de la piscina

La cantidad de calor necesario para elevar la temperatura del agua de la piscina, desde la temperatura inicial T_{p1} , hasta T_{p2} que alcanza los 28 °C, se puede utilizar la expresión del calor sensible

$$Q_{nec} = \frac{M}{HSP} C_p (T_{p2} - T_{p1}) \quad (2.18)$$

Dónde:

Q_{util} calor útil, en Kcal/hr; M masa total de agua de la piscina, en Kg; C_p calor específico del agua, en Kcal/Kg°C; HSP horas de sol pico del mes peor.

El modelo matemático para el análisis energético de las piscinas es muy complejo, debido a la cantidad de parámetros que se presentan en el proceso de calentamiento o enfriamiento del agua. En el año 2013, (Santos & Zárate, 2013) desarrollaron el estudio sobre un modelo térmico para calentamiento de piscinas, para la región sur este del Brasil, basados en redes neuronales. El esquema principal de este trabajo se presenta en la figura 5.

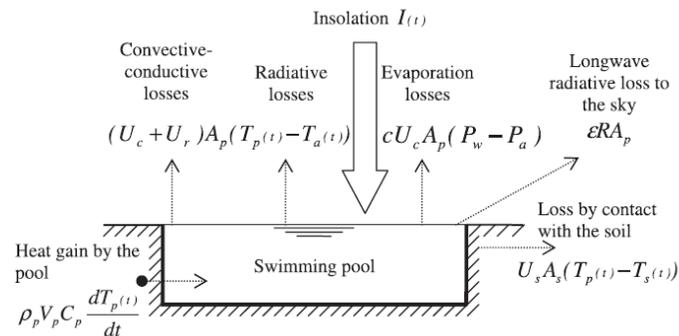


Figura 5 Modelo termo físico de una piscina

Fuente: (Santos & Zárate, 2013)

En el gráfico anterior se puede observar las pérdidas de calor por conducción y convección, por radiación, evaporación del agua de la piscina hacia el ambiente, pérdidas por radiación de onda larga hacia el cielo, por contacto con las paredes de la piscina, mientras que la ganancia de calor ocurre por la incidencia de la radiación global directa y difusa, que llega del sol y de la bóveda celeste.

Los flujos de calor perdidos por la piscina son por: Evaporación, convección, por conducción, y el de radiación

Calor perdido por evaporación:

$$Q_e = Pa \left[35V + 43(Tp - Ta)^{\frac{1}{3}} \right] (Wp - Wa) \quad (2.19)$$

Dónde:

Q_e calor perdido por evaporación, en $\frac{W}{m^2}$; V velocidad del viento; T_p temperatura del agua de la piscina; T_a temperatura del ambiente; W_p relación de humedad a la temperatura de la piscina; W_a humedad relativa en los alrededores de la piscina

Calor perdido por convección:

$$Q_c = Q_e * 0.0006 \left(\frac{T_p - T_a}{W_p - W_a} \right) \quad (2.20)$$

Calor perdido por conducción: (Douglass E. Root Jr, 1959)

$$Q_d = U A_p (T_p - T_{aire}) \quad (2.21)$$

Q_d calor perdido por conducción en las paredes de la piscina; U coeficiente global de transferencia de calor; A_p área de las paredes de la piscina; T_{aire} temperatura promedio del aire en el tiempo considerado.

El coeficiente global de transferencia es:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_{pared}}{k_{pared}}}$$

Calor perdido por radiación:

$$Q_r = h_r A (T_p - T_a) \quad (2.22)$$

Donde Q_r calor perdido por radiación desde la superficie del líquido, en W ; h_r coeficiente de transferencia de calor en $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$; A es el área de la superficie del líquido.

$$h_r = 4 \epsilon \sigma T_m^3 \quad (2.23)$$

Donde ε emisividad del agua que tiene un valor de 0.95; σ constante de Stefan y Boltzmann $5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$

$$T_m = \frac{T_p + T_a}{2} \quad (2.24)$$

2.7. Análisis hidráulico del colector en espiral

En esta parte es necesario considerar las pérdidas por longitud y en accesorios, en los siguientes ramales:

- De la bomba de agua al calentador solar parabólico
- Tubería del calentador, a lo largo del espiral
- De la salida del calentador hacia la piscina

La potencia de bombeo se calcula con:

$$P_{\text{bombeo}} = \frac{HTg\rho Q}{n_{\text{bomba}}n_{\text{motor}}} \quad (2.25)$$

La altura total se calcula con la siguiente expresión:

$$HT = H_g + H_p$$

Dónde:

H_g corresponde a la altura geográfica; H_p es la suma de la altura de pérdidas; por fricción H_{pl} a lo largo de la longitud de la tubería, y H_{pa} la pérdida en accesorios

$$H_p = H_{pl} + H_{pa}$$

CAPITULO 3

ESTADO DEL ARTE DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE PISCINAS

3.1. Calentadores con tubos de polipropileno

Una de las alternativas existentes para el calentamiento de piscinas es el uso del calentador de tubos de polipropileno de alta densidad, resistente a las inclemencias del tiempo, rayos ultravioleta, químicos agresivos y ambientes corrosivos, adaptable a techos curvos, inclinados y planos, tiene una excelente flexibilidad, proporcionan temperaturas de hasta 45°C, vida útil de 25 años aportan energía en condiciones climáticas y de radiación poco favorables. Esta tecnología fue desarrollada por Heliocol en Israel, y es distribuido a nivel mundial, es decir en los últimos años es un producto de mayor crecimiento y aceptación.



Figura 6 Instalación con colectores, Heliocol, México

Fuente: (<http://www.heliocol.com.mx>)

3.2. Colectores con cilindros de polietileno transparente

Por otra parte, (Czarnecki J. T., 1963) propuso un método de calentamiento de piscinas con energía solar, utilizando una manta térmica semitransparente formada por tubos, de acuerdo a lo que se puede observar en la figura 7, es decir, se logra reducir la pérdida por convección y se genera un efecto invernadero entre la burbuja de plástico y la superficie de agua, con lo que se consigue calentar el líquido.

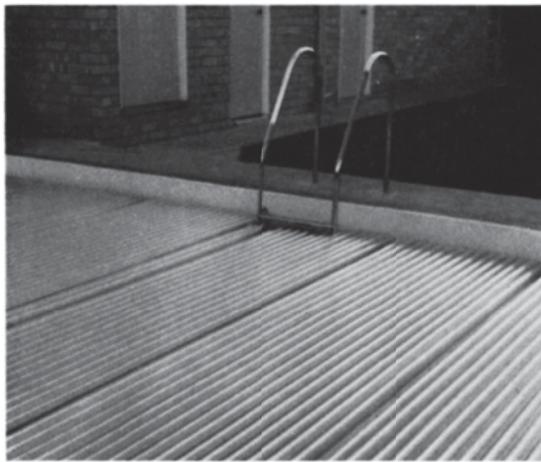


Figura 7 Piscina con calentador de tubos de polietileno

Fuente: (Czarnecki J. T., 1963)

3.3. Calentadores con tubos de cobre

En 1973, Francis de Winter, construyó un prototipo de calentador de piscina compuesto por partes de cobre, por el interior de los tubos circula el agua, mientras que en el exterior de los tubos, las placas que se encuentran acopladas a la tubería, captan la mayor cantidad de radiación solar, es decir se aumenta el área de transferencia de calor. Un esquema de esta instalación se observa en la figura 8.



Figura 8 Calentador de piscinas, Pasadena.

Fuente: (Winter, 1994)

En el año 2010, se presentó un trabajo de diseño térmico e hidráulico de un calentador solar para la Escuela de educación primaria “Ejército Mexicano”, con iniciativa de la Universidad Autónoma Metropolitana, que utilizó un sistema térmico ya instalado, por lo que fue necesario reparar 100 colectores para mejorar su rendimiento energético, con el que se logró calentar el agua en un rango de 27 °C a 29 °C., que corresponde a una zona adecuada de confort. (Dorantes Rubén D, 2014) ISES Solar Word Congress. En la figura 9, se tiene la fotografía de la piscina con calefacción por colectores planos.



Figura 9 Piscina en Azcapotzalco México, 2010

Fuente: (Dorantes Rubén D, 2014)

3.4. Calderos para quemar diésel y propano

En forma tradicional, el calentamiento de piscinas se lo ha realizado mediante el uso de combustibles fósiles, diésel, bunker, GLP, propano, butano, con procesos de combustión que generan gases de efecto invernadero. Estos combustibles son deficitarios, y contaminantes. Además, sin el subsidio a los combustibles fósiles, su uso origina altos costos por consumo energético.



Figura 10 Calderos para calentamiento de piscinas

Fuente: (<https://www.google.com.ec/search?q=calentamiento+de+piscina>)

3.5. Calentamiento por combustión de biomasa

En zonas donde se dispone de leña, se han implementado calderos de poca capacidad para calentamiento de piscinas como se lo puede observar en la figura 11.



Figura 11 Calentador por combustión de leña seca

Fuente: (<https://www.google.com.ec/search?q=calentamiento+de+piscina>)

El problema que se presenta en este tipo de calentadores es la presencia de hollín y gases de combustión, que son contaminantes.

3.6. Bomba de calor

Otra forma de calentar una piscina es mediante el uso de una bomba de calor (Curtis Harrington, 2013), donde se aprovecha la energía térmica producida por un ventilador para aire acondicionado. En el esquema de la figura 12, se observa la piscina, el filtro, bomba de calor, el intercambiador de calor.

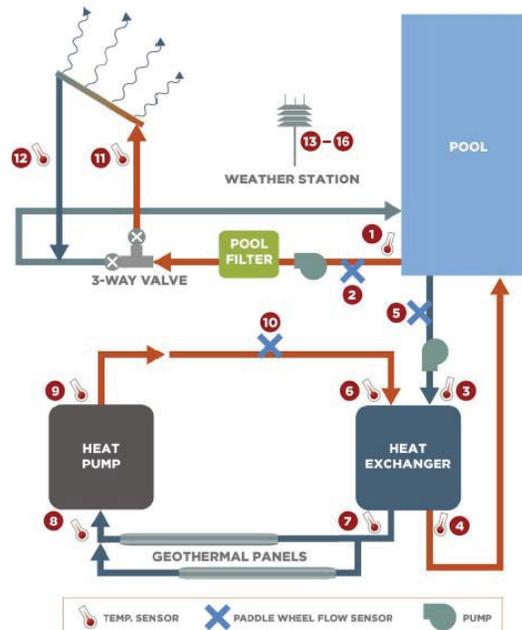


Figura 12 Sistema experimental de calentamiento de piscinas

Fuente: (Curtis Harrington, 2013)

3.7. Calentadores eléctricos

También, se puede calentar el agua de una piscina mediante el uso de calentadores eléctricos que utilizan el efecto Joule, es decir al pasar la corriente por un conductor, este presenta una resistencia que produce fricción entre las partículas del material produciendo calor. La conversión de

trabajo eléctrico en calor se establece mediante el coeficiente 0.24. A continuación, en la figura 13, se observa un tipo de calentador eléctrico.



Figura 13 Calentador eléctrico para piscinas

Fuente: (<https://www.google.com.ec/search?q=Calentadores+el%C3%A9ctricos>)

Otra de las posibilidades para calentar grandes volúmenes de agua, consiste en el uso de un sistema de captadores cilíndrico parabólicos con envolturas de tubos de polietileno colocados en espiral, y envoltente de PET. Esta tecnología se encuentra instalada en Tunas y Cabras, Provincia de Imbabura. Este nuevo tipo de calentador solar desarrollado por el Grupo DECEM, es la base para el desarrollo experimental y teórico de la presente investigación.



Figura 14 Calentador solar parabólico con tubos en espiral y piscina

CAPITULO 4

DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1. Parámetros de ensayo

Para analizar el sistema de calentamiento de la piscina de 125 m³, localizado en Pimán Alto provincia de Imbabura es necesario realizar una segmentación de los parámetros energéticos. Es decir, considerar las condiciones ambientales, el funcionamiento del calentador solar parabólico, elegido para los ensayos, y las condiciones de calentamiento y enfriamiento de la piscina.

Es importante indicar que el lugar donde se realizaron las pruebas del sistema energético, es una zona semi desértica rodeada de escasa vegetación. En este sitio en muy pocas veces se puede observar la presencia de lluvias, en cuanto al viento este tiene un incremento de su velocidad luego del medio día solar. Por la sequedad del sector la humedad relativa es baja.

Con esta descripción de las características bioclimáticas, se puede indicar los parámetros energéticos más importantes, que permitan determinar la eficiencia del sistema de calentamiento. Así como también, la manera en que el fluido de la piscina se calienta durante las horas de sol

pico y en las noches, la pérdida de calor por convección y radiación hacia el ambiente, entre otros aspectos se indica los siguientes.

COLECTOR PARABÓLICO:

- Temperatura de entrada del agua al captador
- Temperatura de salida del agua del captador
- Temperatura de la superficie del colector
- Temperatura de la manguera de polietileno
- Temperatura de la botella
- Irradiancia emitida por la pared blanca del Colector Parabólico

PISCINA DE 125 m³:

- Temperatura de entrada del agua caliente
- Temperatura de salida del agua fría
- Temperatura de la superficie del líquido
- Temperatura de pared
- Temperatura del suelo
- Velocidad del aire que roza la superficie de la piscina

RADIACIÓN SOLAR:

- Irradiancia global
- Irradiancia difusa
- Albedo (hierba, suelo)

CONDICIONES AMBIENTALES:

- Temperatura del ambiente
- Velocidad del aire
- Humedad Relativa

Otros parámetros que deben ser considerados en el análisis energético son: Presión atmosférica local, humedad de saturación a la temperatura de la piscina, emisividad de la superficie del líquido. En el análisis energético del colector es indispensable conocer la eficiencia de este sistema energético, en el caso de la piscina las pérdidas por conducción, convección, radiación, y el gradiente de temperatura que ocurre durante la noche.

4.2. Características técnicas del sistema energético

4.2.1. Colector Parabólico

El sistema de calentamiento de la piscina, utilizando energía solar está compuesto por 6 colectores parabólicos, en cada uno de ellos se encuentra instalado 300 metros de manguera de polietileno, y 1000 botellas de PET (Polyethylene Terephthalate) reciclado, el calentador se soporta sobre una pared parabólica inversa construida con residuos de materiales de construcción, conformando una capa superficial de 10 cm. Esta superficie está pintada de color blanco mate con el propósito de que la radiación que no atraviesa la botella sea reflejada al calentador como una componente de Albedo, esto permite captar la mayor radiación solar posible constituyendo un modelo de cielo isótropo. En cuanto a las dimensiones del calentador se tiene que:

- Diámetro inferior del colector, 6 m.
- Diámetro superior, 2.1 m.
- Altura del calentador parabólico, 1.64 m.
- Diámetro de la tubería de alimentación, 50.8 mm.
- Diámetro de la tubería del manifold de 3 hileras, 31.75 mm.



Figura 15 Colector Parabólico (Imbabura, Pimán, 2015)

En figura 15 se observa la superficie parabólica que actúa como soporte del calentador, sobre ella se encuentra ensamblado el calentador compuesto por 3 mangueras de polietileno de 31.75 mm de diámetro interior. La longitud de cada tubería en promedio se aproxima a los 100 m de longitud. Alrededor del colector de color negro mate, se encuentra colocado las envolventes de PET, las cuales están colocadas en sentido longitudinal de manera consecutiva una tras otra, en el interior del recipiente semitransparente no existe la acumulación de agua ni tampoco la presencia de burbujas producto de la condensación del vapor. Esta situación, permite indicar que en la zona donde está ubicado el sistema de calentamiento, la presencia de lluvias es muy escasa. Al no existir gotas de agua al interior de la botella, la radiación que incide sobre el recipiente, tiene una transmisividad que se mantiene uniforme a lo largo del día. Por otra parte, en lo respecta al factor de suciedad sobre la manguera, se mantendría en un 10% de acuerdo con Wilson, Energía Solar.

En cuanto a la geometría de distribución de las tuberías, se observa que debido a las tensiones térmicas ocasionadas por la variación de temperaturas de un máximo de 34 °C hasta un mínimo de 16 °C, origina ablandamiento y resequedad en el material del tubo. Sin embargo, esta afectación se encuentra en pocos colectores parabólicos.

4.2.2. Piscina

La ubicación de la piscina tiene una orientación NO, de tal manera que la radiación solar, incide sobre el vaso de la piscina desde las 9:00, hasta las 17:00 horas, es decir se tendría en condiciones ideales un aporte solar de 8 horas. Sin embargo debido a la existencia de nubosidad se puede tomar como horas de máxima insolación, 5.5 horas de sol pico por día.

En cuanto al volumen de la piscina, es de 125 m³, la misma que expuesta al sol esta cantidad de agua se puede calentar hasta 22 °C y en la noche si no se dispone de manta térmica la temperatura del agua disminuye hasta los 16 °C.

Con la implementación del sistema del calentamiento de agua con energía solar se ha logrado alcanzar la temperatura de confort térmico de 28 °C, y al estar colocado manta térmica se reduce la temperatura durante la noche hasta los 26 °C. Esta condición permite indicar que el calentador elaborado con materiales reciclados y de fabricación local cumple con el CTE (Código Técnico de la Edificación) que es la normativa española para sistema de calentamiento de agua con energía solar.



Figura 16 Piscina de 125 m³

Al realizar la inspección de la piscina se indica que la longitud principal del vaso tiene una orientación NO, en la mañana, existe sombras debido a los árboles que impiden la incidencia de la radiación aproximadamente las 9:00 de la mañana. Es necesario indicar que en los procesos de calentamiento de piscina de uso doméstico, se deben reducir las pérdidas de calor que se dan por: evaporación, conducción en las paredes y piso de la piscina, convección por la presencia de flujos de aire en la superficie libre del líquido, y la radiación. Para reducir las pérdidas por convección y radiación, esta piscina está recubierta con manta térmica, que tiene una distribución de las burbujas de aire colocadas hacia la línea libre de líquido. Esta situación, genera una delgada capa de aire que actúa como aislante entre el líquido la cubierta de manta térmica y el ambiente. Para verificar el ángulo horario de la puesta de sol se pudo constatar que este se aproxima a un valor de 75°C , esto ocurre a las 17:00 horas debido a la existencia de una montaña que genera sombra a la radiación solar incidente. Además, se ha podido observar que la piscina requiere de un mantenimiento permanente de limpieza debido a la abundante presencia de hojas en el interior de la piscina. Estos materiales pueden originar taponamientos en la línea de bombeo.

4.3. Instalación, Instrumentos y equipos de medición

4.3.1. Instalación

Para realizar los ensayos de calentamiento, utilizando colectores parabólicos, se toma como referencia de la presente investigación el sistema implementado en la Hostería Tunas y Cabras, que tiene una capacidad de 54000 Wt. Esta tecnología alternativa fue instalada por docentes y alumnos del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, en los años 2013 y 2014. Una configuración de este sistema se encuentra en la figura 17, que se observa a continuación.



Figura 17 Calentador solar parabólico con tubos en espiral y piscina

Luego de haber realizado la investigación de campo se pudo determinar los instrumentos y equipos necesarios para el levantamiento de datos, respecto al funcionamiento de este sistema energético calentado por energía solar. A continuación en la figura 18, figura 19 y figura 20, se describe la instrumentación utilizada.

4.3.2. Instrumentos de medición

A continuación se realiza una descripción de los instrumentos y equipos utilizados para medición de la radiación solar global, difusa y albedo, condiciones ambientales y para determinar los parámetros de funcionamiento del sistema energético como es el caso de campo de temperaturas puntuales del colector y la piscina.

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
 <p data-bbox="461 835 837 867">Heliógrafo Campbell-Stokes</p>	<p data-bbox="878 352 1382 695">Con el heliógrafo se puede determinar las horas de máxima insolación durante el día, es decir, las horas de brillo solar. El aparato concentra la luz en un punto y quema una cartulina donde se registran las horas de sol pico</p>  <p data-bbox="956 890 1354 972">Cartulina que indica HSP, 2.5 horas</p>
 <p data-bbox="500 1373 799 1404">Medidor de irradiancia</p>	<p data-bbox="878 1157 1382 1293">Es un piranómetro de célula calibrada que mide la irradiancia solar en W/m^2</p>

Figura 18 Instrumentos de medición de la radiación solar

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
 <p>Anemómetro de película caliente</p>	<p>La lectura es velocidad y temperatura del aire que atraviesa el sensor</p>
 <p>Higrótermómetro</p>	<p>Sirve para la lectura de humedad relativa y temperatura ambiente</p>

Figura 19 Instrumentos de medición de las condiciones ambientales

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
 <p data-bbox="509 667 803 701">Termómetro infrarrojo</p>	<p data-bbox="894 432 1382 617">Se utiliza para medir temperatura de sólidos, como es el caso de la manguera y base del colector</p>
 <p data-bbox="469 1199 846 1283">Medidor de Temperatura 12 canales</p>	<p data-bbox="894 961 1382 1045">El instrumento permite medir la temperatura de 12 puntos</p>

Figura 20 Instrumentos para verificación de temperatura del sistema energético

4.4. Procedimiento de pruebas

Para realizar los ensayos se procedió a seguir la siguiente metodología:

- Determinación de los parámetros de medición
- Selección de equipos
- Análisis de los sitios de levantamiento de datos
- Puesta a punto de instrumentos y equipos
- Levantamiento de información
- Análisis

4.5. Toma de datos

Para realizar la toma de datos se consideró la temperatura de salida del colector y la temperatura del tubo de polietileno, que permite establecer un ΔT , para calcular la curva de rendimiento del colector. En la determinación de los flujos de calor del captador se necesita conocer la temperatura ambiente, velocidad del viento, radiación incidente. Así como también, la temperatura de pared del calentador parabólico. Para el caso de la piscina es necesario tener valores promedios de temperatura del agua, velocidad del aire en la superficie libre de líquido y la humedad relativa que rodea al vaso. Esto debe ser complementado con los datos de radiación solar.

A continuación, en la Tabla 1, se pueden observar los valores promedios de los parámetros energéticos correspondientes a los 5 ensayos realizados.

Tabla 1
Promedios de parámetros energéticos

ENSAYO Orden No	CALENTADOR PARABÓLICO			PISCINA			AMBIENTE			RADIACIÓN				η
	T2 °C	Tman °C	Tbot °C	Th °C	Ts °C	Tp °C	Ta °C	Hr %	Vviento m/s	Ig W/m ²	Id W/m ²	Ia W/m ²	Is W/m ²	
1	28.9	25.8	26.2	24.9	24.3	20.4	26.6	30.0	0.9	433.8	159.8	150.6	128.0	0.47
2	27.6	25.8	26.2	26.3	26.0	21.7	26.2	32.8	1.2	595.7	272.8	234.2	138.9	0.49
3	29.7	27.1	27.0	26.4	26.6	23.1	27.1	30.2	1.0	654.8	201.6	140.1	118.5	0.48
4	32.8	28.9	29.5	29.0	28.3	28.0	28.9	25.6	1.2	478.3	138.8	117.7	179.9	0.46
5	32.8	28.7	29.8	26.8	26.5	26.8	28.1	31.2	1.2	616.9	149.0	160.6	213.9	0.47
PROMEDIO	30.4	27.3	27.7	26.7	26.3	24.0	27.4	30.0	1.1	555.9	184.4	160.6	155.8	0.47

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE DATOS

5.1. Tabulación

En esta investigación se realizaron 5 ensayos de calentamiento de la piscina, utilizando colectores parabólicos, en cada uno de ellos fue necesario conocer los parámetros energéticos del calentador parabólico y radiación incidente. Para el caso de la piscina se ha tomado las respectivas temperaturas de entrada del fluido, pared y superficie del líquido. Además, en esta tabla se incluyen las condiciones ambientales. Este estudio permite verificar que el funcionamiento de los calentadores, desde el punto de vista energético satisface las condiciones iniciales del diseño preliminar. Es decir, se ha llegado a comprobar una vez más que la temperatura del agua de la piscina alcanza los 28 °C. A continuación se presentan las tablas de datos de los ensayos realizados.

CALENTADOR PARABÓLICO

Tabla 2

Parámetros energéticos del Calentador Parabólico y Radiación Solar Local, Ensayo 1

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	CALENTADOR PARABÓLICO					RADIACIÓN			η	U(T2- Tman)/I _g
			T1 °C	T2 °C	T _{bot} °C	T _{man} °C	I _s W/m ²	I _g W/m ²	I _d W/m ²	I _a W/m ²		
1	9:20	0	26.0	30.0	31.0	25.0	245.0	701.0	68.0	140.0	0.47	0.050
2	9:30	10	25.0	24.0	24.0	23.0	115.0	350.0	125.0	123.0	0.50	0.020
3	9:40	20	23.7	28.3	23.4	25.6	240.0	280.0	120.0	100.0	0.46	0.068
4	9:50	30	25.9	30.2	25.6	26.1	112.0	455.0	191.0	172.0	0.46	0.063
5	10:00	40	28.0	30.5	25.7	28.8	134.0	651.0	180.0	330.0	0.50	0.018
6	10:10	50	27.7	30.0	25.5	27.4	129.0	380.0	133.0	129.0	0.48	0.048
7	10:20	60	29.6	30.3	24.9	25.2	125.0	392.0	206.0	118.0	0.44	0.091
8	10:30	70	30.2	32.6	28.8	27.0	137.0	378.0	188.0	122.0	0.43	0.104
9	10:40	80	27.9	31.4	31.5	28.0	167.0	870.0	132.0	282.0	0.49	0.027
10	10:50	90	23.9	28.1	25.3	25.5	130.0	384.0	177.0	141.0	0.48	0.047
11	11:00	100	29.8	31.5	31.0	30.5	120.0	965.0	144.0	260.0	0.51	0.007
12	11:10	110	31.2	30.7	25.5	26.0	116.0	353.0	147.0	116.0	0.44	0.093
13	11:20	120	29.8	29.3	26.1	26.0	106.0	301.0	124.0	97.0	0.45	0.077
14	11:30	130	32.1	30.0	25.0	25.0	136.0	376.0	93.0	112.0	0.44	0.093
15	11:40	140	31.1	30.2	25.6	26.1	88.0	337.0	123.0	104.0	0.44	0.085
16	11:50	150	31.4	32.2	31.2	28.8	104.0	346.0	180.0	148.0	0.46	0.069
17	12:00	160	29.8	31.6	23.8	24.1	120.0	350.0	109.0	220.0	0.39	0.150
18	12:10	170	31.6	30.2	27.0	27.4	185.0	360.0	144.0	208.0	0.47	0.054
19	12:20	180	31.7	31.7	22.4	24.8	201.0	1120.0	115.0	202.0	0.48	0.043
20	14:50	330	31.2	35.2	28.6	28.0	106.0	340.0	125.0	98.0	0.39	0.148
21	15:00	340	28.8	25.8	27.1	24.4	112.0	340.0	133.0	131.0	0.49	0.029
22	15:10	350	33.0	27.8	25.2	24.9	60.0	640.0	80.0	107.0	0.49	0.032
23	15:20	360	26.8	25.5	24.2	23.8	62.0	215.0	100.0	58.0	0.47	0.055
24	15:30	370	28.4	26.7	25.7	25.1	62.0	210.0	100.0	103.0	0.47	0.053
25	15:40	380	32.2	28.3	28.7	26.9	181.0	680.0	106.0	170.0	0.50	0.014
26	15:50	390	31.0	25.4	25.8	24.4	160.0	610.0	320.0	138.0	0.51	0.011
27	16:00	400	27.9	24.3	24.1	23.8	53.0	132.0	95.0	43.0	0.49	0.027
28	16:10	410	28.3	26.5	24.7	25.2	49.0	227.0	72.0	80.0	0.48	0.040
29	16:20	420	29.9	28.2	26.8	26.2	119.0	525.0	186.0	82.0	0.49	0.027
30	16:30	430	27.7	26.8	25.4	25.7	103.0	223.0	159.0	102.0	0.49	0.035
31	16:40	440	26.6	26.2	24.1	24.3	219.0	324.0	384.0	170.0	0.48	0.041
32	16:50	450	26.2	26.2	24.6	24.2	94.0	337.0	363.0	273.0	0.48	0.042
33	17:00	460	27.1	26.9	24.8	25.4	134.0	165.0	351.0	292.0	0.46	0.064
PROMEDIO			28.8	28.9	26.2	25.8	128.0	433.8	159.8	150.6	0.47	0.055
MÁXIMO			33.0	35.2	31.5	30.5	245.0	1120.0	384.0	330.0	0.51	0.150
MÍNIMO			23.7	24.0	22.4	23.0	49.0	132.0	68.0	43.0	0.39	0.007

ENSAYO 1 (COLECTOR)

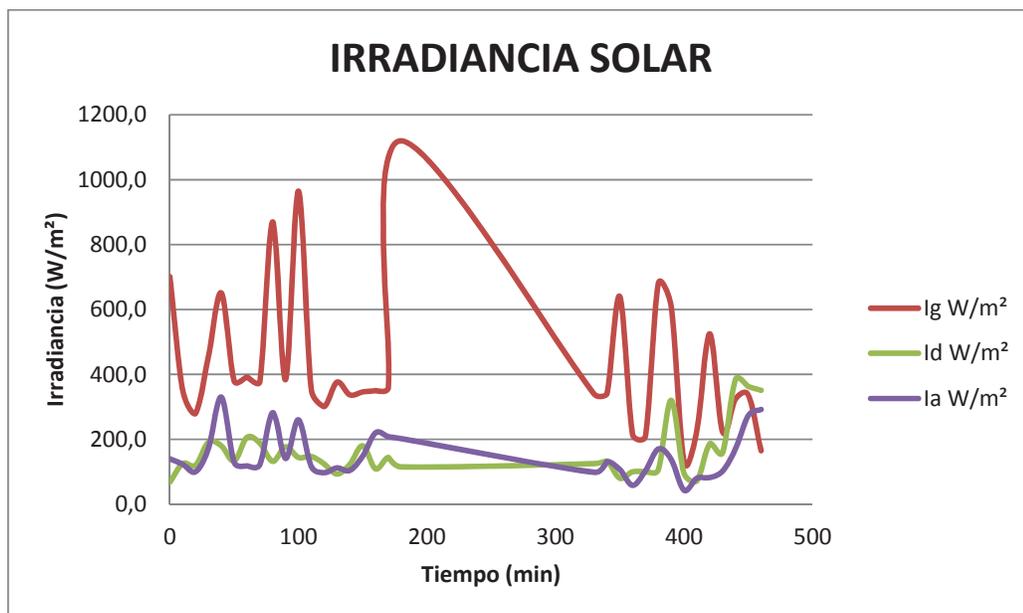


Figura 21 Curvas de radiación solar, ensayo 1

De acuerdo con la figura 21, los valores máximo, mínimo y promedio de la irradiancia global son:

Ig máx: 1120 (W/m²)

Ig mín: 132 (W/m²)

Ig prom: 433.8 (W/m²)

Observando el dato de irradiancia máxima se puede indicar que el valor de 1120 W/m², sobrepasa el valor de la media mundial. La irradiancia global mínima es de 132 W/m², este valor es inferior a los 250 W/m², que es el considerado para insolación máxima.

Para el caso de la radiación difusa se obtuvieron los siguientes valores:

Id máx: 384 (W/m²)

Id mín: 68 (W/m²)

Id prom: 159.8 (W/m²)

Se puede indicar que el valor de irradiancia difusa máxima de 384 W/m^2 , es superior a 250 W/m^2 , pudiendo indicar que la radiación de la bóveda celeste tiene una contribución importante a la radiación global.

La radiación de albedo tiene los siguientes valores:

la máx: $330 \text{ (W/m}^2\text{)}$

la mín: $43 \text{ (W/m}^2\text{)}$

la prom: $150.6 \text{ (W/m}^2\text{)}$

La radiación de albedo máxima del suelo indica que la claridad es del 29.5%.

A continuación, se realiza el grafico de la irradiancia del colector para compararlo con la irradiancia global.

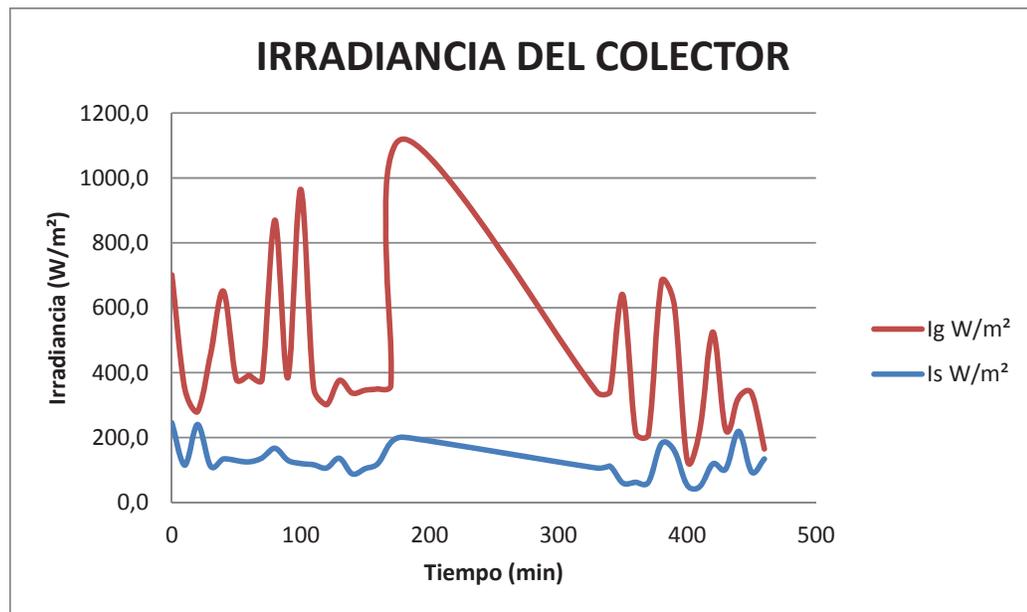


Figura 22 Curvas de irradiancia del colector y solar global, ensayo 1

Observando la figura 22, se tiene que el pico máximo de la irradiancia de la pared del colector tiene un valor de 245 W/m^2 .

Is máx: $245 \text{ (W/m}^2\text{)}$

Is mín: $49 \text{ (W/m}^2\text{)}$

Is prom: $128 \text{ (W/m}^2\text{)}$

Al establecer la diferencia entre la irradiancia global máxima de 1120 W/m^2 , y la irradiancia máxima del colector, es de 875 W/m^2 .

En los dos gráficos se puede observar un pico máximo de la irradiancia global de 1120 W/m^2 al medio día, debido a la ausencia de nubosidad es decir en ese instante de tiempo el índice de claridad tiende a 1.

Los datos de temperatura en el colector solar se indican a continuación:

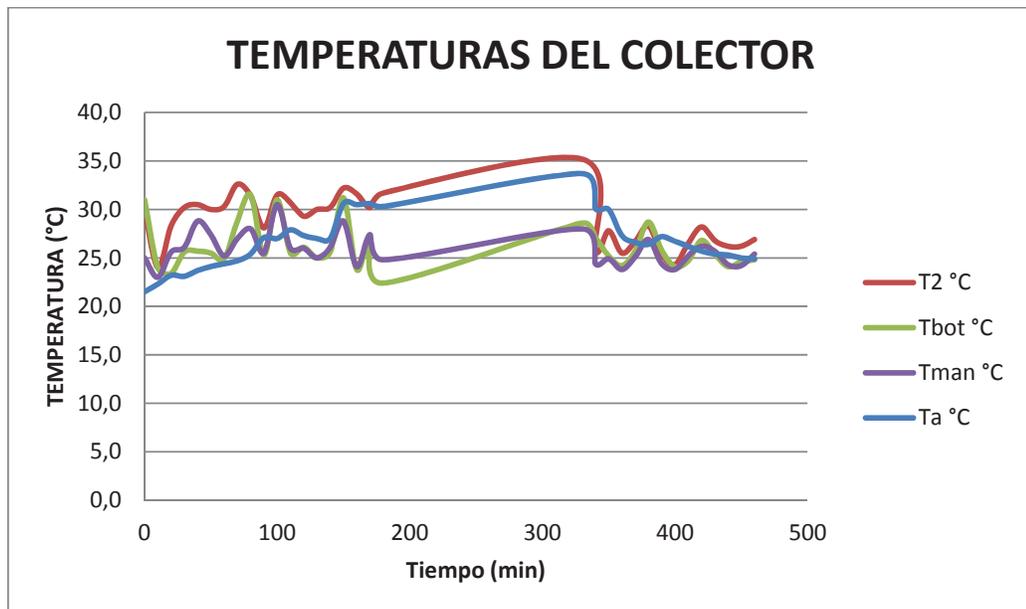


Figura 23 Curvas de temperaturas del colector solar parabólico, ensayo 1

Los datos de referencia son:

T2 máx: $35.2 \text{ }^\circ\text{C}$

T2 mín: $24 \text{ }^\circ\text{C}$

T2 prom: $28.9 \text{ }^\circ\text{C}$

Tbot máx: $31.5 \text{ }^\circ\text{C}$

Tbot mín: $22.4 \text{ }^\circ\text{C}$

Tbot prom: $26.2 \text{ }^\circ\text{C}$

Tman máx: $31.5 \text{ }^\circ\text{C}$

Tman mín: $23 \text{ }^\circ\text{C}$

Tman prom: $25.8 \text{ }^\circ\text{C}$

Ta máx: 33.7 °C

Ta mín: 21.5 °C

Ta prom: 26.6 °C

La temperatura máxima de salida del agua es de 35.2 °C mientras que la de ingreso al captador es de 23 °C, si se considera la medición realizada de manera indirecta en la manguera, a la sombra. Las temperaturas máximas y mínimas de la botella de PET son 31.5 °C y 22.4 °C.

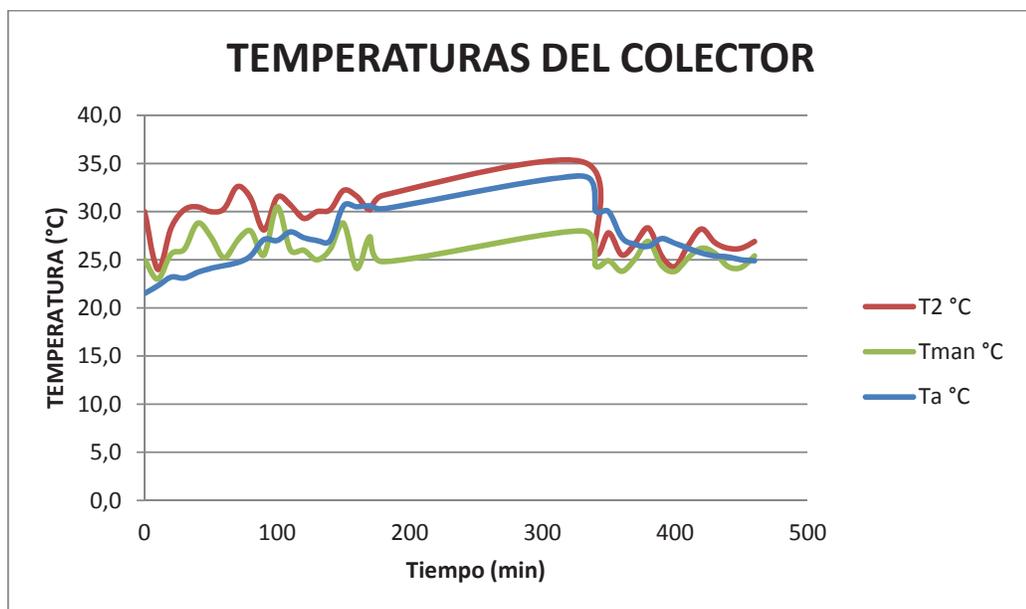


Figura 24 Curvas de temperaturas del colector, ensayo 1

Los datos de temperatura de la manguera y de la salida del captador son los siguientes:

T2 máx: 35.2 °C

T2 mín: 24 °C

T2 prom: 28.9 °C

Tman máx: 31.5 °C

Tman mín: 23 °C

Tman prom: 25.8 °C

Como resultado de esta investigación se obtiene la curva de eficiencia del colector solar parabólico la misma que representa una línea recta con pendiente negativa, con un valor promedio de 47%.

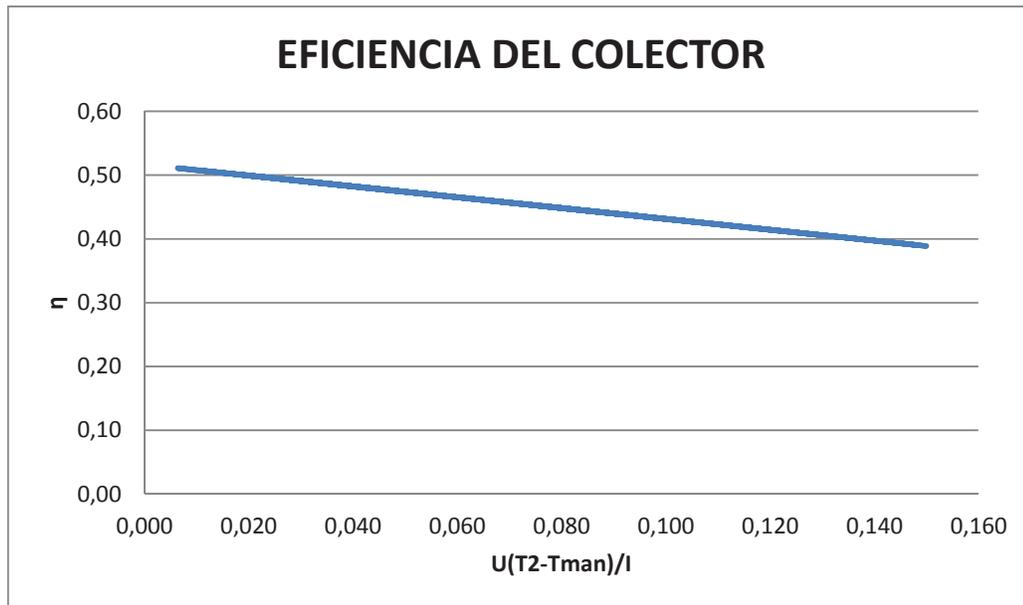


Figura 25 Curva de eficiencia energética del colector, ensayo 1

Los datos calculados para la eficiencia energética del colector, en valores máximos, mínimo y promedio se indican a continuación.

η max: 0.51

η min: 0.39

η prom: 0.47

Tabla 3

Parámetros energéticos de la piscina y del ambiente, Ensayo 1

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	AMBIENTE			PISCINA		
			Ta °C	Hr %	Vviento m/s	Th °C	Tp °C	Ts °C
1	9:20	0	21.5	41.0	1.0	23.0	17.5	22.0
2	9:30	10	22.3	40.0	0.2	23.0	15.7	22.0
3	9:40	20	23.2	38.0	0.4	23.7	18.3	22.0
4	9:50	30	23.1	37.0	1.6	23.2	18.9	22.0
5	10:00	40	23.7	37.0	0.2	23.2	17.8	22.0
6	10:10	50	24.1	35.0	2.3	23.2	18.0	22.0
7	10:20	60	24.4	35.0	2.5	23.2	18.0	22.0
8	10:30	70	24.7	35.0	1.7	23.5	18.2	22.0
9	10:40	80	25.4	32.0	1.0	23.1	18.9	22.0
10	10:50	90	27.1	30.0	0.3	22.9	19.3	24.0
11	11:00	100	27.0	30.0	0.3	22.7	20.9	24.0
12	11:10	110	27.9	29.0	1.7	23.2	21.6	24.0
13	11:20	120	27.3	29.0	0.2	23.0	21.4	24.0
14	11:30	130	27.0	27.0	0.9	23.9	20.9	24.0
15	11:40	140	27.0	29.0	0.2	24.0	21.5	24.0
16	11:50	150	30.6	24.0	0.7	25.1	21.1	24.0
17	12:00	160	30.5	16.0	0.2	24.1	21.5	24.0
18	12:10	170	30.6	22.0	0.3	25.3	23.1	24.0
19	12:20	180	30.3	23.0	0.5	25.3	23.2	24.0
20	14:50	330	33.7	18.0	0.3	26.6	23.1	26.0
21	15:00	340	30.1	21.0	0.5	25.9	22.0	26.0
22	15:10	350	30.0	21.0	0.3	25.9	22.3	26.0
23	15:20	360	27.3	26.0	1.4	25.3	23.0	26.0
24	15:30	370	26.6	30.0	0.5	25.1	21.0	26.0
25	15:40	380	26.4	29.0	1.5	25.0	21.7	26.0
26	15:50	390	27.2	30.0	1.0	27.3	20.2	26.0
27	16:00	400	26.7	31.0	0.5	26.8	20.8	26.0
28	16:10	410	26.2	31.0	1.2	27.5	20.0	26.0
29	16:20	420	25.7	32.0	1.5	27.0	20.8	26.0
30	16:30	430	25.4	32.0	0.8	27.0	20.3	26.0
31	16:40	440	25.3	33.0	3.1	27.5	19.4	26.0
32	16:50	450	25.0	34.0	0.3	27.8	21.2	26.0
33	17:00	460	24.9	34.0	1.5	28.3	22.5	26.0
PROMEDIO			26.6	30.0	0.9	24.9	20.4	24.3
MÁXIMO			33.7	41.0	3.1	28.3	23.2	26.0
MÍNIMO			21.5	16.0	0.2	22.7	15.7	22.0

ENSAYO 1 (PISCINA)

A continuación se presentan las curvas de temperatura de entrada de agua caliente suministrada por el colector 3-4.

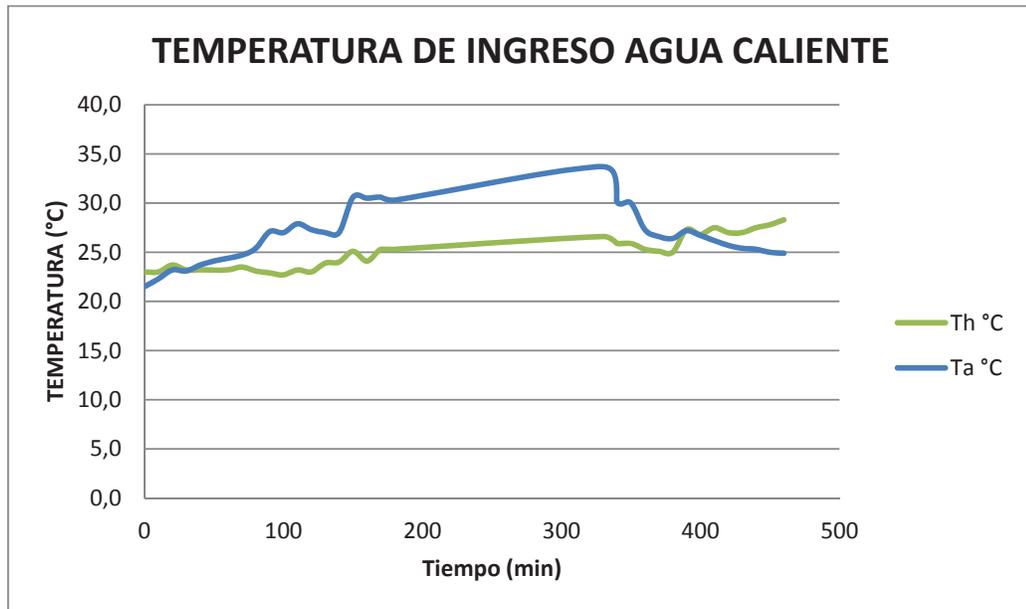


Figura 26 Curvas de temperatura de ingreso de agua caliente, ensayo 1

Los valores de referencia son:

Th máx: 28.3 °C

Th mín: 22.7 °C

Th prom: 24.9 °C

Ta máx: 33.7 °C

Ta mín: 21.5 °C

Ta prom: 26.6 °C

El agua caliente de los colectores tiene una temperatura máxima de 28.3 °C y mínima de 22.7 °C.

Para realizar la verificación de que con calentamiento solar la piscina alcanza los 28 °C, que es la temperatura de confort mínima, se presenta el siguiente gráfico.

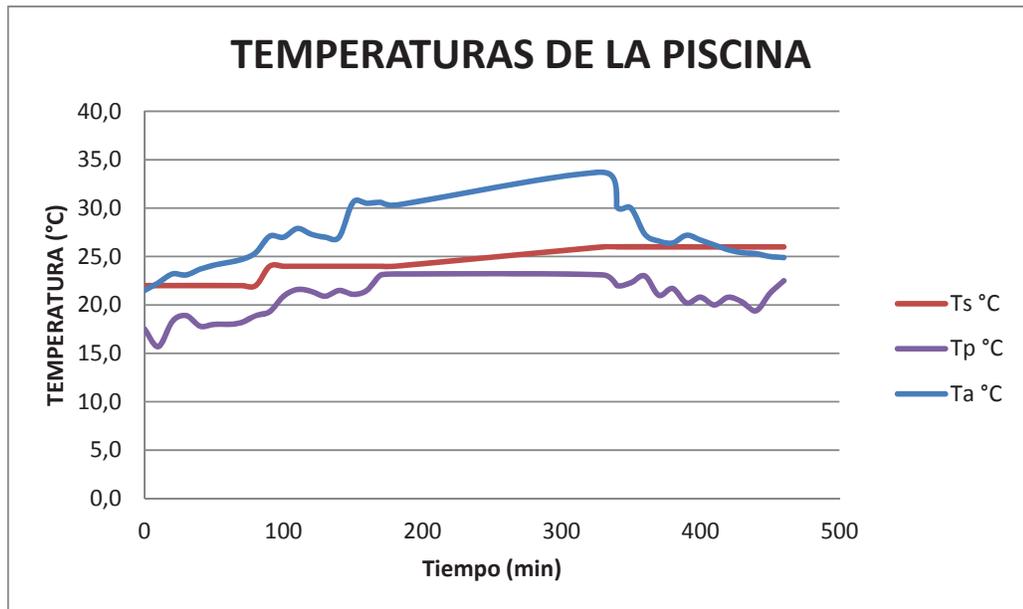


Figura 27 Curvas de temperatura de la piscina, ensayo 1

Ts máx: 26 °C

Ts mín: 22 °C

Ts prom: 24.3 °C

El valor de temperatura de 26 °C, indica que no se consigue la temperatura mínima de confort, se puede manifestar que no se alcanza una mayor temperatura debido a que los colectores 5 y 6, están suspendidos, además se puede observar que el valor de temperatura inicial en la piscina estuvo con un valor de 22 °C que es una temperatura baja.

Tabla 4

Parámetros energéticos del Calentador Parabólico y Radiación Solar Local, Ensayo 2

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	CALENTADOR PARABÓLICO					RADIACIÓN			η	U(T2- Tman)/I _g
			T1 °C	T2 °C	T _{bot} °C	T _{man} °C	I _s W/m ²	I _g W/m ²	I _d W/m ²	I _a W/m ²		
1	9:00	0	22.7	24.5	23.0	23.6	48.0	200.0	147.0	54.0	0.49	0.032
2	9:10	10	23.1	23.3	21.8	22.4	7.0	236.0	180.0	71.0	0.49	0.027
3	9:20	20	24.0	24.1	22.1	22.7	71.0	363.0	257.0	93.0	0.49	0.027
4	9:30	30	24.1	23.6	22.3	22.5	82.0	378.0	27.0	96.0	0.50	0.020
5	9:40	40	24.1	25.1	23.7	24.2	80.0	327.0	235.0	91.0	0.50	0.019
6	9:50	50	23.6	24.6	23.5	23.5	88.0	332.0	234.0	90.0	0.50	0.023
7	10:00	60	25.5	24.5	23.0	24.0	115.0	400.0	360.0	160.0	0.51	0.009
8	10:10	70	25.0	26.5	27.9	25.9	207.0	1000.0	670.0	330.0	0.51	0.004
9	10:20	80	24.7	24.5	24.0	23.8	80.0	325.0	240.0	108.0	0.50	0.015
10	10:30	90	24.4	25.2	25.2	24.8	97.0	355.0	245.0	101.0	0.51	0.008
11	10:40	100	24.7	26.3	26.0	25.6	107.0	447.0	195.0	123.0	0.51	0.011
12	10:50	110	28.0	27.5	26.8	25.0	223.0	1270.0	1060.0	75.0	0.50	0.014
13	11:00	120	27.2	30.2	27.9	26.3	133.0	971.0	103.0	181.0	0.49	0.028
14	11:10	130	28.3	27.9	27.2	27.1	172.0	1085.0	150.0	200.0	0.51	0.005
15	11:20	140	24.5	27.3	25.9	25.7	190.0	1150.0	143.0	205.0	0.51	0.010
16	11:30	150	28.3	28.6	26.0	27.4	181.0	1112.0	181.0	283.0	0.51	0.008
17	11:40	160	29.2	28.4	28.6	27.8	203.0	1045.0	1024.0	266.0	0.51	0.004
18	11:50	170	31.0	31.7	31.5	31.3	206.0	1032.0	663.0	262.0	0.51	0.003
19	12:00	180	26.4	25.9	23.0	24.7	65.0	276.0	165.0	78.0	0.49	0.030
20	12:10	190	30.2	28.0	25.7	25.0	230.0	542.0	191.0	175.0	0.48	0.039
21	12:20	200	36.5	33.5	32.3	29.8	262.0	1108.0	171.0	756.0	0.50	0.023
22	12:30	210	37.0	32.1	31.0	29.3	370.0	1114.0	177.0	237.0	0.50	0.018
23	14:40	320	29.7	27.7	25.2	25.6	63.0	267.0	130.0	74.5	0.47	0.055
24	14:50	330	36.4	36.2	30.8	29.4	165.0	720.0	190.0	2230.0	0.46	0.066
25	15:00	340	35.1	31.0	28.9	28.0	152.0	520.0	344.0	174.0	0.48	0.040
26	15:10	350	37.0	31.3	29.0	27.6	85.0	270.0	95.0	53.0	0.43	0.096
27	15:20	360	34.7	27.0	27.2	26.3	175.0	651.0	273.0	167.0	0.51	0.008
28	15:30	370	36.3	30.1	29.7	27.8	192.0	65.0	146.0	158.0	0.31	0.248
29	15:40	380	28.5	25.3	24.0	24.3	83.0	206.0	114.0	78.0	0.49	0.034
30	15:50	390	26.9	25.8	23.0	23.7	36.0	103.0	74.0	57.0	0.40	0.143
PROMEDIO			28.6	27.6	26.2	25.8	138.9	595.7	272.8	234.2	0.49	0.036
MÁXIMO			37.0	36.2	32.3	31.3	370.0	1270.0	1060.0	2230.0	0.51	0.248
MÍNIMO			22.7	23.3	21.8	22.4	7.0	65.0	27.0	53.0	0.31	0.003

ENSAYO 2 (COLECTOR)

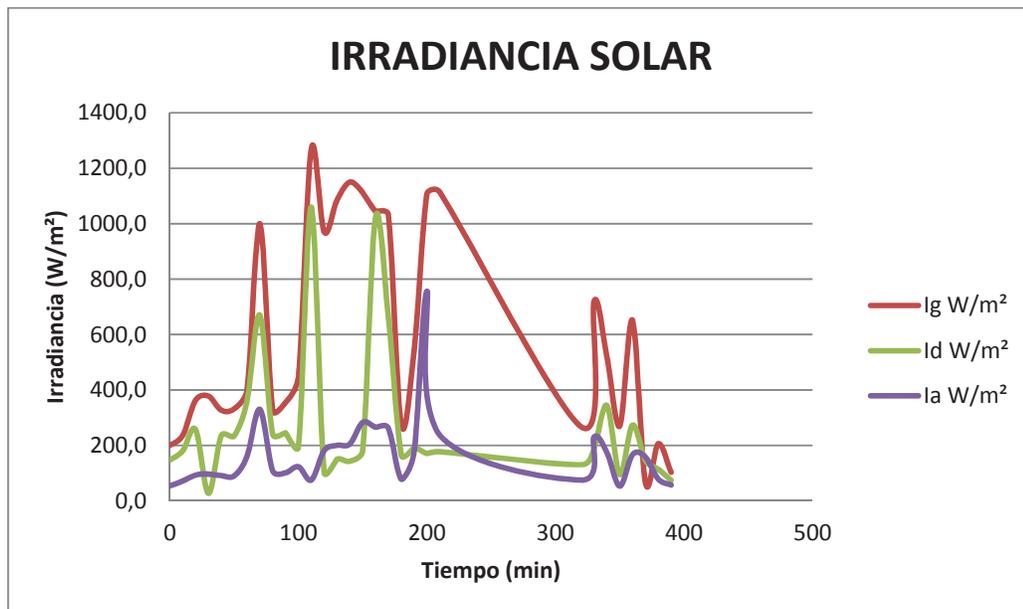


Figura 28 Curvas de radiación solar, ensayo 2

De acuerdo con la figura 28, los valores máximo, mínimo y promedio de la irradiancia global son:

I_g máx: 1270 (W/m^2)

I_g mín: 65 (W/m^2)

I_g prom: 595.7 (W/m^2)

Observando el dato de irradiancia máxima se puede indicar que el valor de 1270 W/m^2 , sobrepasa el valor de la media mundial. La irradiancia global mínima es de 65 W/m^2 , este valor es inferior a los 250 W/m^2 , que es el considerado para insolación máxima.

Para el caso de la radiación difusa se obtuvieron los siguientes valores:

I_d máx: 1060 (W/m^2)

I_d mín: 27 (W/m^2)

I_d prom: 272.8 (W/m^2)

En los dos gráficos se puede observar un pico máximo de la irradiancia global de 1270 W/m^2 a los 110 minutos de toma de datos.

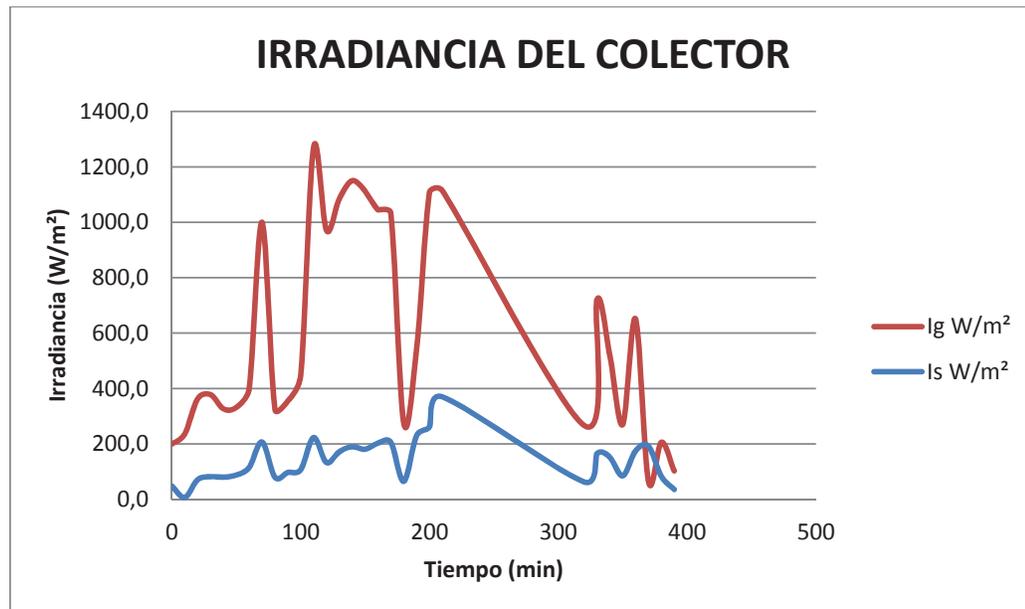


Figura 29 Curvas de irradiancia del colector y solar global, ensayo 2

Observando la figura 29, se tiene los siguientes valores:

Is máx: 138.9 (W/m²)

Is mín: 7 (W/m²)

Is prom: 370 (W/m²)

Ig máx: 1270 (W/m²)

Ig mín: 65 (W/m²)

Ig prom: 595.7 (W/m²)

Al establecer la diferencia entre la irradiancia global máxima de 1270 W/m², y la irradiancia máxima del colector, el valor es de 1131.1 W/m².

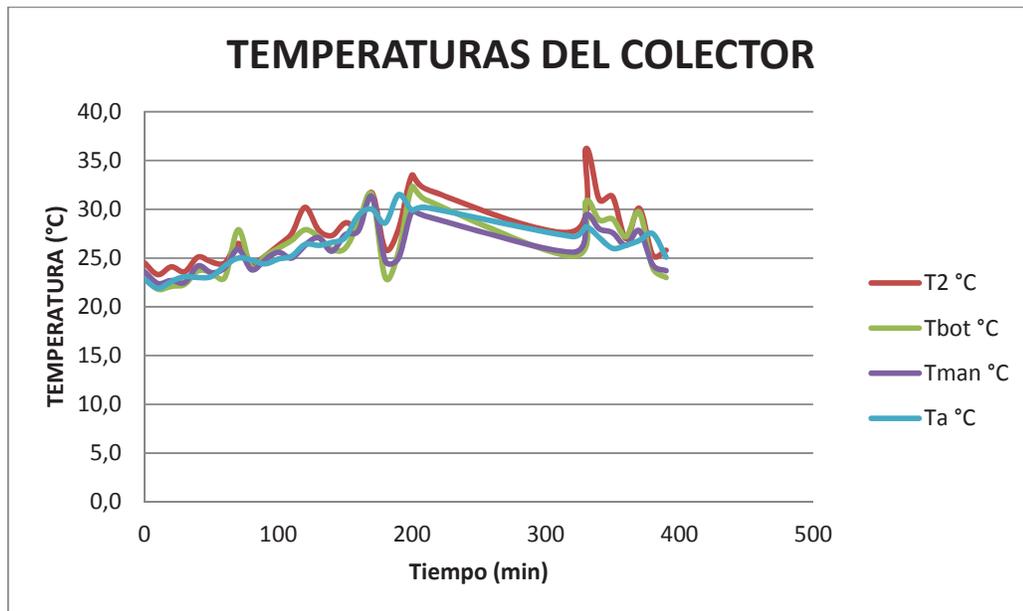


Figura 30 Curvas de temperaturas del colector solar parabólico, ensayo 2

Los datos de temperatura en el colector solar se indican a continuación:

T2 máx: 36.2 °C

T2 mín: 23.3 °C

T2 prom: 27.6 °C

Tbot máx: 32.3 °C

Tbot mín: 21.8 °C

Tbot prom: 26.2 °C

Tman máx: 31.3 °C

Tman mín: 22.4 °C

Tman prom: 25.8 °C

Ta máx: 31.5 °C

Ta mín: 21.9 °C

Ta prom: 26.2 °C

La temperatura máxima de salida del agua es de 36.2 °C mientras que la de ingreso al captador es de 22.4 °C, si se considera la medición realizada de manera indirecta en la manguera, a la sombra. Las temperaturas máximas y mínimas de la botella de PET son 32.3 °C y 21.8 °C.

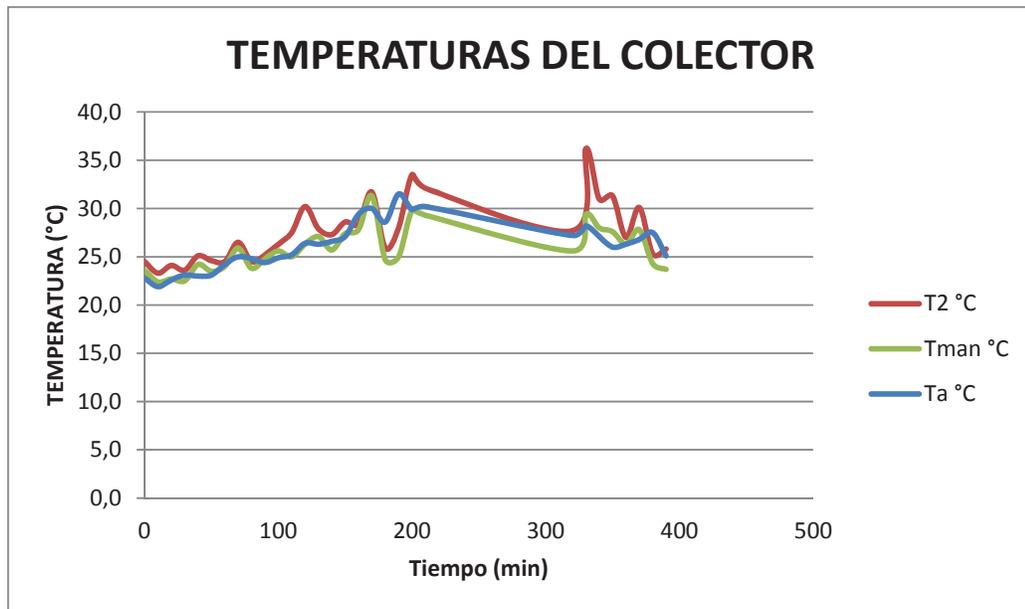


Figura 31 Curvas de temperaturas del colector, ensayo 2

Los datos de temperatura de la manguera y de la salida del captador son los siguientes:

T2 máx: 36.2 °C

T2 mín: 23.3 °C

T2 prom: 27.6 °C

Tman máx: 31.3 °C

Tman mín: 22.4 °C

Tman prom: 25.8 °C

La variación de temperaturas de la manguera y de T2 tiene un comportamiento estable con valores máximos de 31.3 °C y 36.2 °C.

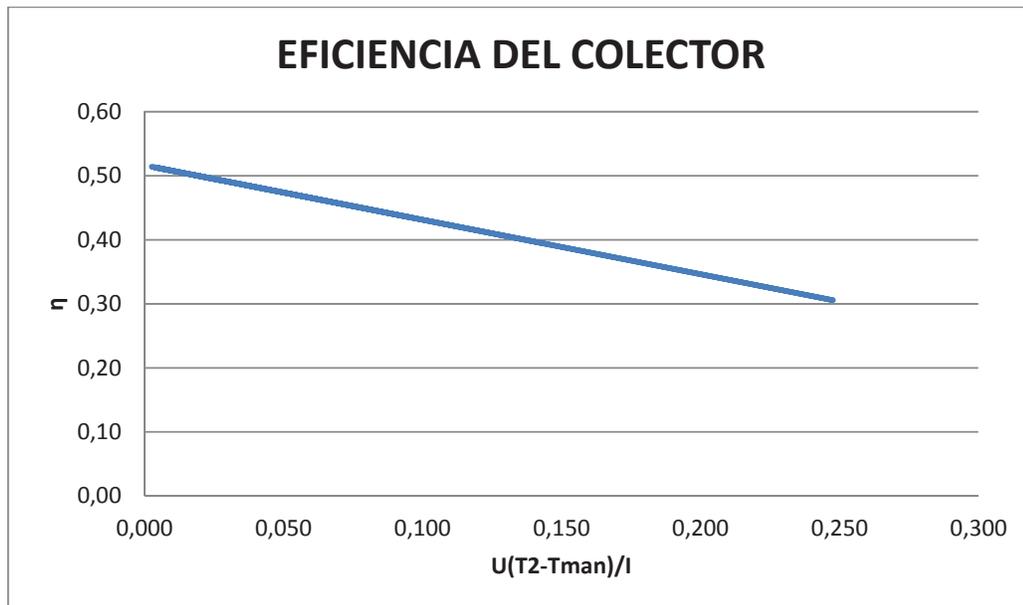


Figura 32 Curva de eficiencia energética del colector, ensayo 2

Aquí se puede observar que la curva de eficiencia del colector tiene pendiente negativa.

La eficiencia energética del colector es:

η máx: 0.51

η min: 0.31

η prom: 0.49

Tabla 5
Parámetros energéticos de la piscina y del ambiente, Ensayo 2

Orden	Hora	Tiempo	AMBIENTE			PISCINA		
			Ta	Hr	Vviento	Th	Tp	Ts
No	hh:mm	min	°C	%	m/s	°C	°C	°C
1	9:00	0	22.8	52.0	0.3	23.8	18.7	24.0
2	9:10	10	21.9	50.0	0.3	24.0	18.4	24.0
3	9:20	20	22.6	45.0	2.4	25.0	19.2	24.0
4	9:30	30	23.1	42.0	0.1	25.1	18.4	24.0
5	9:40	40	23.0	39.0	2.4	25.5	19.7	24.0
6	9:50	50	23.1	38.0	0.5	25.3	18.4	24.0
7	10:00	60	24.2	38.0	0.4	25.1	20.2	24.0
8	10:10	70	25.0	37.0	0.5	26.1	21.5	24.0
9	10:20	80	24.8	34.0	1.5	25.5	18.1	26.0
10	10:30	90	24.4	36.0	1.4	25.2	18.4	26.0
11	10:40	100	24.9	36.0	0.3	25.2	19.2	26.0
12	10:50	110	25.2	35.0	1.9	25.4	19.4	26.0
13	11:00	120	26.4	34.0	0.8	25.9	21.8	26.0
14	11:10	130	26.3	32.0	0.8	26.2	21.3	26.0
15	11:20	140	26.6	32.0	1.3	25.8	19.7	26.0
16	11:30	150	27.1	32.0	1.5	26.2	23.0	26.0
17	11:40	160	29.4	25.0	2.5	28.3	27.8	26.0
18	11:50	170	30.0	24.0	0.3	25.3	26.6	26.0
19	12:00	180	28.6	25.0	0.2	26.0	28.2	26.0
20	12:10	190	31.5	23.0	1.5	26.5	25.8	26.0
21	12:20	200	29.9	25.0	1.8	26.2	28.4	26.0
22	12:30	210	30.2	23.0	1.3	26.3	25.0	26.0
23	14:40	320	27.2	26.0	1.3	28.6	24.2	28.0
24	14:50	330	28.2	26.0	2.3	27.7	23.6	28.0
25	15:00	340	27.1	27.0	1.3	27.5	20.9	28.0
26	15:10	350	26.0	29.0	1.9	28.6	20.6	28.0
27	15:20	360	26.3	30.0	0.4	28.1	21.6	28.0
28	15:30	370	26.8	31.0	2.9	29.4	23.0	28.0
29	15:40	380	27.5	28.0	1.6	28.2	20.6	28.0
30	15:50	390	25.1	31.0	1.2	28.2	20.6	28.0
PROMEDIO			26.2	32.8	1.2	26.3	21.7	26.0
MÁXIMO			31.5	52.0	2.9	29.4	28.4	28.0
MÍNIMO			21.9	23.0	0.1	23.8	18.1	24.0

ENSAYO 2 (PISCINA)

A continuación se presentan las curvas de temperatura de entrada de agua caliente suministrada por el colector 3-4.

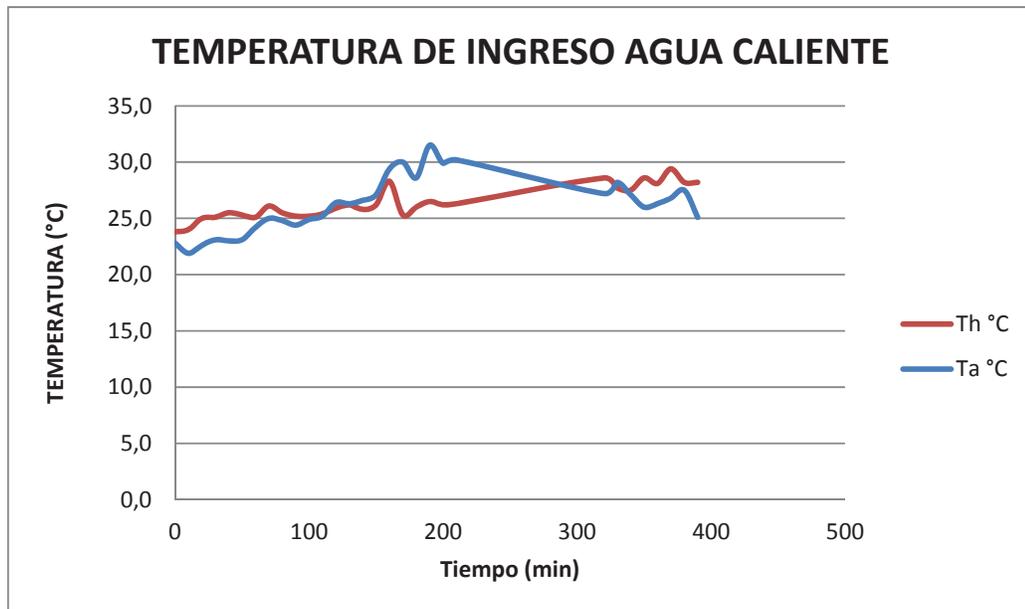


Figura 33 Curvas de temperatura de ingreso de agua caliente, ensayo 2

Los valores de referencia son:

Th máx: 29.4 °C

Th mín: 23.8 °C

Th prom: 26.3 °C

Ta máx: 31.5 °C

Ta mín: 21.9 °C

Ta prom: 26.2 °C

El agua caliente de los colectores tiene una temperatura máxima de 29.4 °C y mínima de 23.8 °C.

Se presenta el siguiente grafico para verificar el calentamiento solar la piscina.

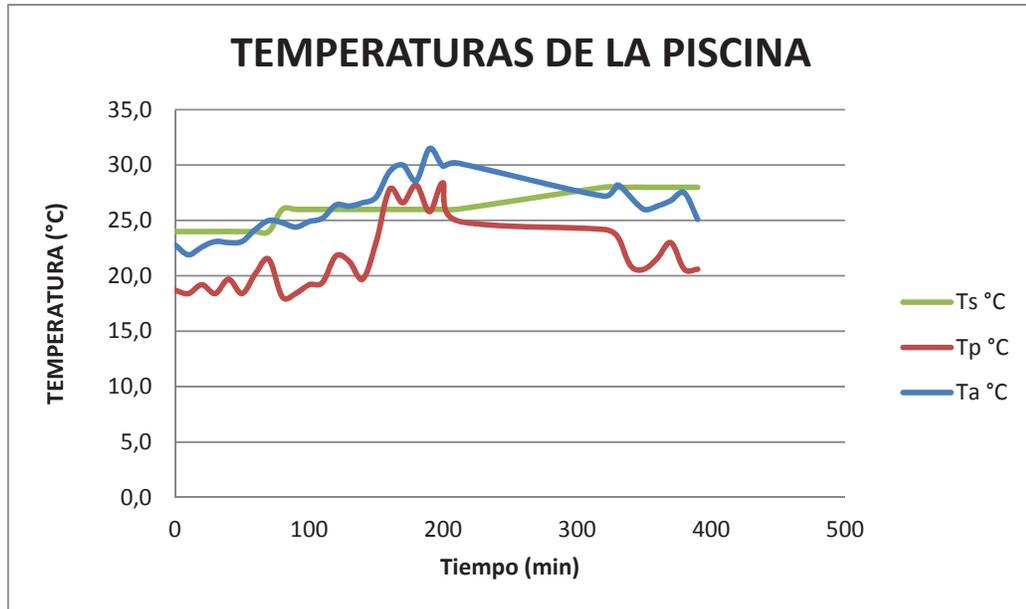


Figura 34 Curvas de temperatura de la piscina, ensayo 2

Ts máx: 28 °C

Ts mín: 24 °C

Ts prom: 26 °C

El valor de temperatura de 28 °C, indica que se consigue la temperatura mínima de confort, se puede observar que el valor de temperatura inicial en la piscina estuvo con un valor de 24 °C.

Tabla 6

Parámetros energéticos del Calentador Parabólico y Radiación Solar Local, Ensayo 3

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	CALENTADOR PARABÓLICO					RADIACIÓN			η	U(T2- Tman)/lg
			T1 °C	T2 °C	Tbot °C	Tman °C	Is W/m ²	Ig W/m ²	Id W/m ²	Ia W/m ²		
1	9:40	0	26.4	26.5	26.4	26.3	63.0	240.0	194.0	84.0	0.51	0.006
2	9:50	10	25.8	26.3	26.2	26.2	59.0	214.0	177.0	72.0	0.51	0.003
3	10:00	20	26.7	27.6	27.5	27.2	90.0	255.0	182.0	2.0	0.51	0.011
4	10:10	30	28.4	27.3	26.0	27.0	62.0	212.0	175.0	81.0	0.51	0.010
5	10:20	40	28.4	28.6	26.6	27.0	70.0	273.0	193.0	87.0	0.48	0.041
6	10:30	50	28.7	27.5	26.4	26.5	102.0	415.0	310.0	125.0	0.50	0.017
7	10:40	60	28.6	28.6	26.6	27.5	127.0	457.0	315.0	137.0	0.50	0.017
8	10:50	70	30.5	29.1	28.0	28.6	95.0	390.0	270.0	111.0	0.51	0.009
9	11:00	80	30.5	32.5	28.9	29.2	100.0	1210.0	330.0	260.0	0.50	0.019
10	11:10	90	35.0	35.7	30.3	30.6	215.0	1300.0	330.0	300.0	0.49	0.027
11	11:20	100	30.3	34.9	29.5	30.6	268.0	1085.0	175.0	185.0	0.49	0.028
12	11:30	110	31.0	34.1	26.6	27.6	150.0	1092.0	182.0	215.0	0.48	0.042
13	11:40	120	30.5	30.6	27.8	27.8	170.0	1036.0	137.0	242.0	0.50	0.019
14	11:50	130	31.0	31.0	26.4	26.2	160.0	1007.0	93.0	180.0	0.49	0.033
15	12:00	140	30.7	28.4	27.6	28.1	224.0	1020.0	517.0	204.0	0.51	0.002
16	12:10	150	33.7	32.5	25.3	24.5	105.0	1130.0	230.0	170.0	0.47	0.050
17	12:20	160	32.4	29.5	30.0	28.8	245.0	1178.0	198.0	294.0	0.51	0.004
18	12:30	170	32.5	28.3	27.9	27.2	111.0	1120.0	230.0	174.0	0.51	0.007
19	12:40	180	34.8	30.9	26.5	26.5	97.0	870.0	217.0	110.0	0.49	0.035
20	12:50	190	34.6	34.4	27.1	25.5	245.0	1290.0	230.0	270.0	0.48	0.048
21	14:30	200	39.9	28.1	25.5	27.2	82.0	204.0	164.0	86.0	0.49	0.031
22	14:40	320	33.7	29.5	27.8	28.1	121.0	780.0	143.0	156.0	0.51	0.013
23	14:50	330	31.5	28.5	28.6	28.0	102.0	398.0	193.0	102.0	0.51	0.009
24	15:00	340	28.3	27.1	24.1	25.0	65.0	253.0	144.0	68.0	0.47	0.058
25	15:10	350	29.7	27.4	26.0	26.1	22.0	101.0	42.0	28.0	0.44	0.090
26	15:20	360	28.2	28.8	25.5	25.5	27.0	81.4	38.5	20.0	0.28	0.284
27	15:30	370	29.0	27.7	24.0	24.2	23.8	68.0	33.0	19.4	0.21	0.360
PROMEDIO			30.8	29.7	27.0	27.1	118.5	654.8	201.6	140.1	0.48	0.047
MÁXIMO			39.9	35.7	30.3	30.6	268.0	1300.0	517.0	300.0	0.51	0.360
MÍNIMO			25.8	26.3	24.0	24.2	22.0	68.0	33.0	2.0	0.21	0.002

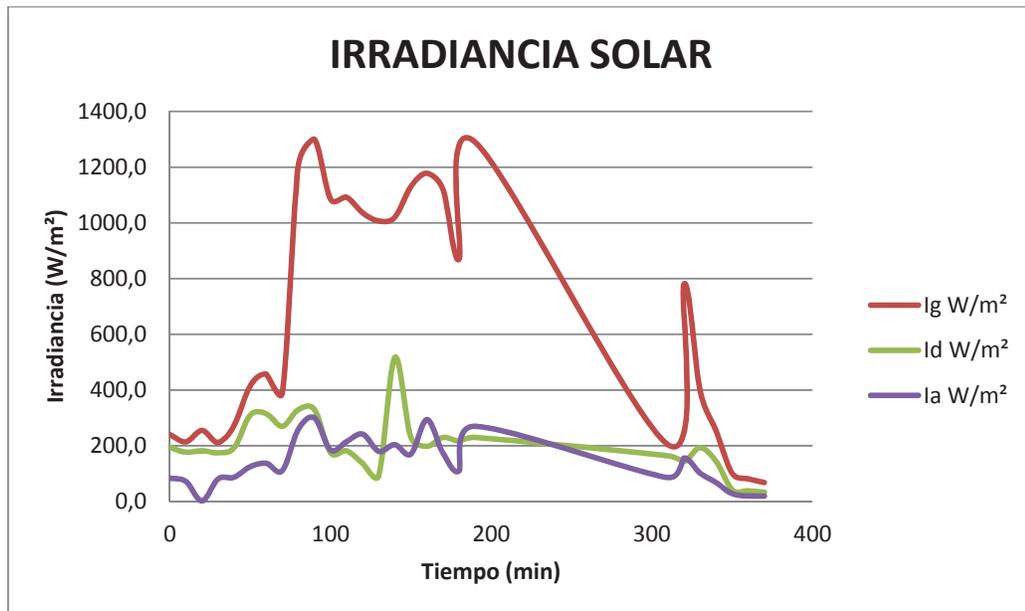


Figura 35 Curvas de radiación solar, ensayo 3

De acuerdo con la figura 35, los valores máximo, mínimo y promedio de la irradiancia global son:

I_g máx: 1300 (W/m^2)

I_g mín: 68 (W/m^2)

I_g prom: 654.8 (W/m^2)

Observando el dato de irradiancia máxima se puede indicar que el valor de 1300 W/m^2 , sobrepasa el valor de la media mundial. La irradiancia global mínima es de 68 W/m^2 , este valor es inferior a los 250 W/m^2 , que es el considerado para insolación máxima.

Para el caso de la radiación difusa se obtuvieron los siguientes valores:

I_d máx: 517 (W/m^2)

I_d mín: 33 (W/m^2)

I_d prom: 201.6 (W/m^2)

En los dos gráficos se puede observar un pico máximo de la irradiancia global de 1300 W/m^2 a los 90 minutos de toma de datos.

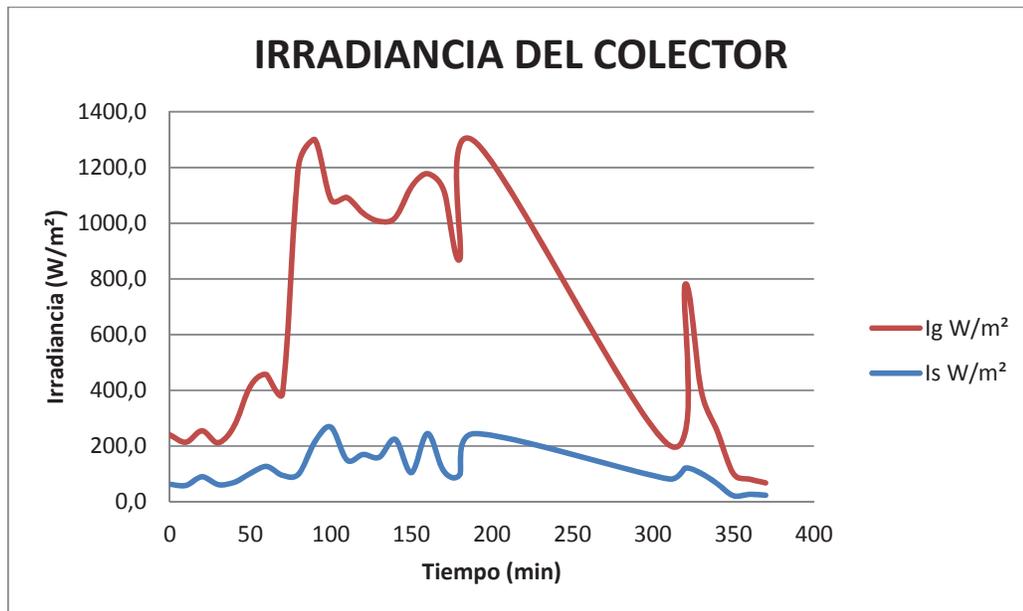


Figura 36 Curvas de irradiancia del colector y solar global, ensayo 3

Observando la figura 36, se tiene los siguientes valores:

Is máx: 268 (W/m²)

Is mín: 22 (W/m²)

Is prom: 118.5 (W/m²)

Ig máx: 1300 (W/m²)

Ig mín: 68 (W/m²)

Ig prom: 654.8 (W/m²)

Al establecer la diferencia entre la irradiancia global máxima de 1300 W/m², y la irradiancia máxima del colector, el valor es de 1032 W/m².

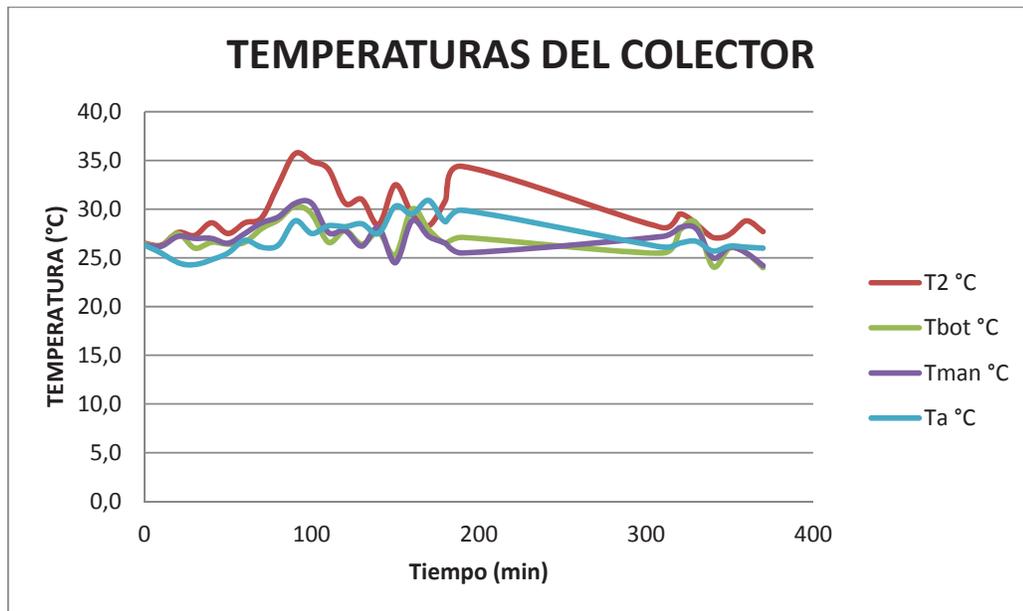


Figura 37 Curvas de temperaturas del colector solar parabólico, ensayo 3

Los datos de temperatura en el colector solar se indican a continuación:

T2 máx: 35.7 °C

T2 mín: 26.3 °C

T2 prom: 29.7 °C

Tbot máx: 30.3 °C

Tbot mín: 24 °C

Tbot prom: 27 °C

Tman máx: 30.6 °C

Tman mín: 24.2 °C

Tman prom: 27.1 °C

Ta máx: 30.9 °C

Ta mín: 24.3 °C

Ta prom: 27.1 °C

La temperatura máxima de salida del agua es de 35.7 °C mientras que la de ingreso al captador es de 24.2 °C, si se considera la medición realizada de manera indirecta en la manguera, a la sombra. Las temperaturas máximas y mínimas de la botella de PET son 30.3 °C y 24 °C.

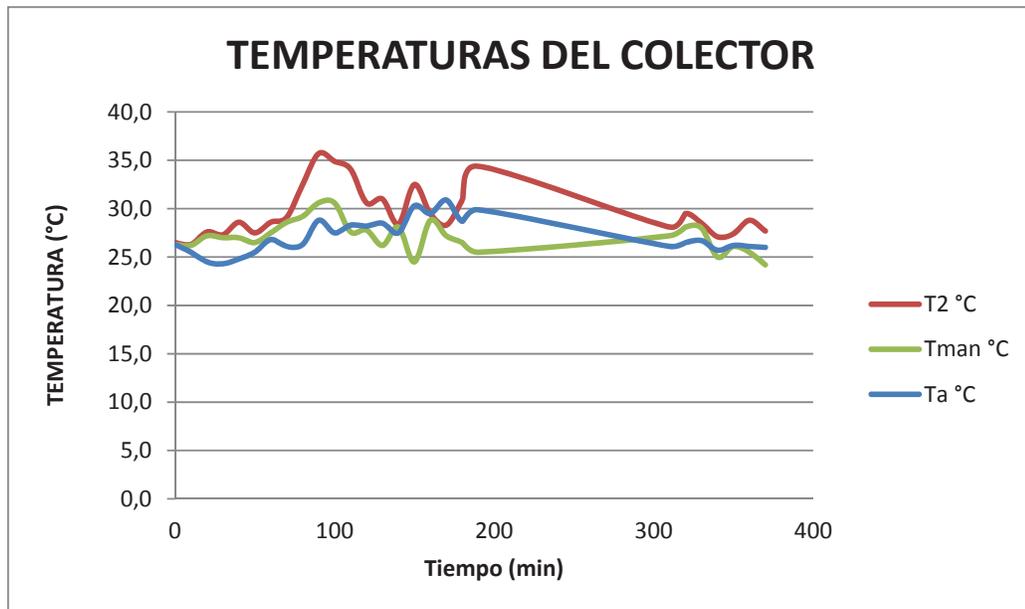


Figura 38 Curvas de temperaturas del colector, ensayo 3

Los datos de temperatura de la manguera y de la salida del captador son los siguientes:

T2 máx: 36.2 °C

T2 mín: 23.3 °C

T2 prom: 27.6 °C

Tman máx: 31.3 °C

Tman mín: 22.4 °C

Tman prom: 25.8 °C

La variación de temperaturas de la manguera y de T2 tiene un comportamiento estable con valores máximos de 30.6 °C y 35.7 °C.

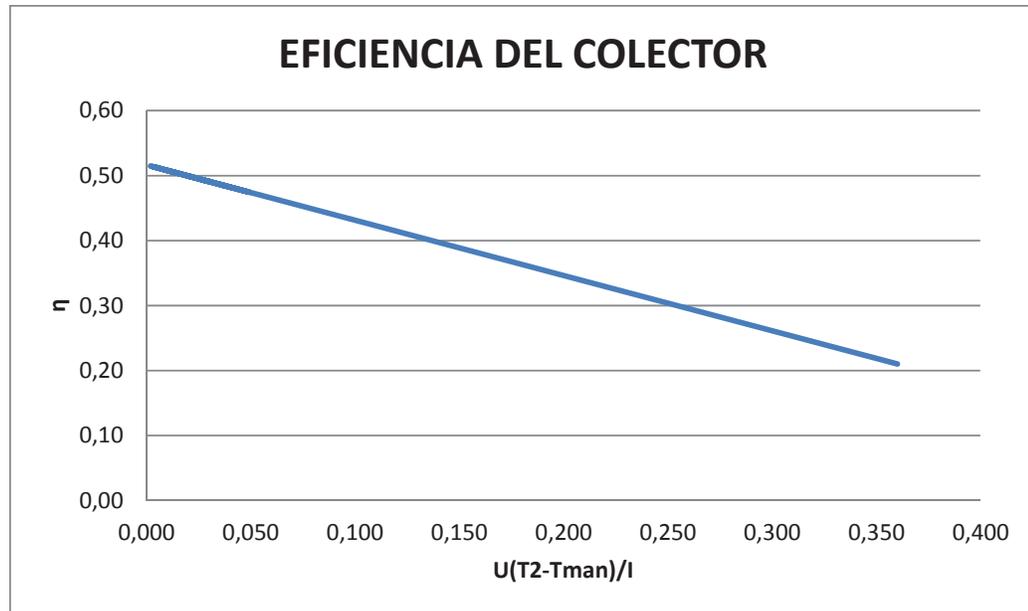


Figura 39 Curva de eficiencia energética del colector, ensayo 3

Aquí se puede observar que la curva de eficiencia del colector tiene pendiente negativa.

La eficiencia energética del colector es:

η máx: 0.51

η min: 0.21

η prom: 0.48

Tabla 7
Parámetros energéticos de la piscina y del ambiente, Ensayo 3

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	AMBIENTE			PISCINA		
			Ta °C	Hr %	Vviento m/s	Th °C	Tp °C	Ts1 °C
1	9:40	0	26.3	33.0	0.4	24.1	18.7	25.0
2	9:50	10	25.5	34.0	1.6	24.3	18.0	25.0
3	10:00	20	24.5	36.0	1.5	24.2	18.9	25.0
4	10:10	30	24.3	36.0	0.3	24.2	19.4	26.0
5	10:20	40	24.8	35.0	0.9	24.3	19.5	26.0
6	10:30	50	25.5	35.0	1.3	24.1	20.7	26.0
7	10:40	60	26.8	32.0	1.2	24.2	19.3	26.0
8	10:50	70	26.1	32.0	3.0	24.5	19.2	26.0
9	11:00	80	26.3	31.0	0.2	24.3	20.1	26.0
10	11:10	90	28.8	29.0	1.0	25.4	22.2	26.0
11	11:20	100	27.5	21.0	0.8	25.5	22.0	26.0
12	11:30	110	28.3	27.0	0.2	26.2	24.2	26.0
13	11:40	120	28.2	29.0	1.5	28.1	24.5	26.0
14	11:50	130	28.5	29.0	0.3	26.2	23.0	26.0
15	12:00	140	27.5	29.0	1.0	26.9	26.7	26.0
16	12:10	150	30.3	26.0	0.9	27.2	31.0	26.0
17	12:20	160	29.5	25.0	1.8	28.2	31.0	26.0
18	12:30	170	30.9	23.0	0.4	27.9	33.8	26.0
19	12:40	180	28.7	21.0	0.3	27.8	26.1	28.0
20	12:50	190	29.9	26.0	2.8	27.1	24.1	28.0
21	14:30	200	26.1	32.0	0.5	28.1	23.6	28.0
22	14:40	320	26.5	32.0	0.7	27.7	24.0	28.0
23	14:50	330	26.7	31.0	1.2	32.0	24.1	28.0
24	15:00	340	25.7	32.0	0.3	27.6	21.7	28.0
25	15:10	350	26.2	33.0	2.1	27.8	23.1	28.0
26	15:20	360	26.1	33.0	0.8	27.7	24.6	28.0
27	15:30	370	26.0	33.0	1.2	27.6	21.5	28.0
PROMEDIO			27.1	30.2	1.0	26.4	23.1	26.6
MÁXIMO			30.9	36.0	3.0	32.0	33.8	28.0
MÍNIMO			24.3	21.0	0.2	24.1	18.0	25.0

ENSAYO 3 (PISCINA)

A continuación se presentan las curvas de temperatura de entrada de agua caliente suministrada por el colector 3-4.

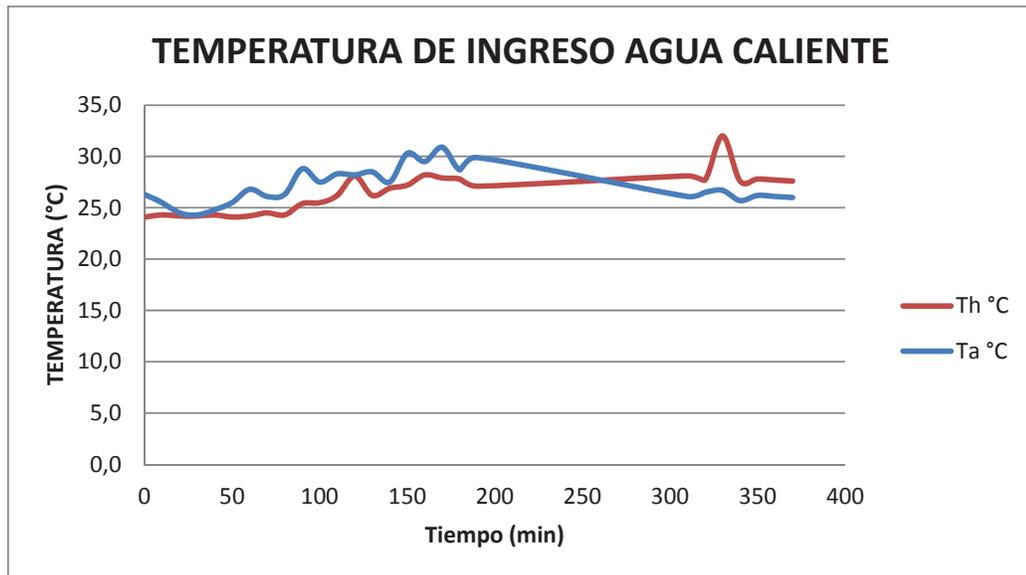


Figura 40 Curvas de temperatura de ingreso de agua caliente, ensayo 3

Los valores de referencia son:

Th máx: 32 °C

Th mín: 24.1 °C

Th prom: 26.4 °C

Ta máx: 30.9 °C

Ta mín: 24.3 °C

Ta prom: 27.1 °C

El agua caliente de los colectores tiene una temperatura máxima de 32 °C y mínima de 24.1 °C.

Se presenta el siguiente gráfico para verificar el calentamiento solar la piscina.

Ts máx: 28 °C

Ts mín: 25 °C

Ts prom: 26.6 °C

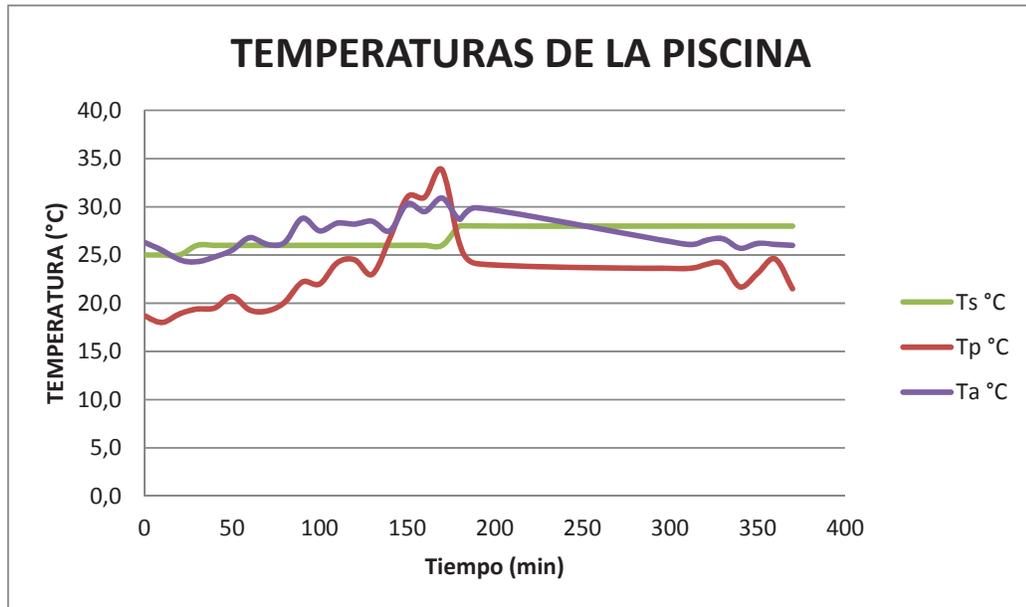


Figura 41 Curvas de temperatura de la piscina, ensayo 3

El valor de temperatura de 28 °C, indica que se consigue la temperatura mínima de confort, se puede observar que el valor de temperatura inicial en la piscina estuvo con un valor de 25 °C.

Tabla 8

Parámetros energéticos del Calentador Parabólico y Radiación Solar Local, Ensayo 4

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	CALENTADOR PARABÓLICO					RADIACIÓN			η	U(T2- Tman)/I _g
			T1 °C	T2 °C	T _{bot} °C	T _{man} °C	I _s W/m ²	I _g W/m ²	I _d W/m ²	I _a W/m ²		
1	11:00	0	29.3	31.7	27.3	28.2	210.0	1147.0	269.0	132.9	0.50	0.021
2	11:10	10	35.0	38.5	29.2	30.3	160.4	515.5	428.7	151.8	0.42	0.111
3	11:20	20	35.8	39.1	29.1	30.1	349.7	1338.0	372.2	303.8	0.48	0.047
4	11:30	30	32.2	33.9	26.2	25.7	108.7	549.2	226.6	155.5	0.43	0.105
5	11:40	40	31.3	34.2	31.5	28.7	365.0	1253.0	238.7	194.4	0.49	0.031
6	11:50	50	37.2	39.6	37.4	32.7	251.3	1185.0	157.5	232.9	0.48	0.041
7	12:00	60	31.8	36.6	31.7	27.1	103.8	284.3	101.6	97.0	0.32	0.234
8	12:10	70	32.5	37.1	32.6	30.7	461.0	366.2	114.7	184.0	0.41	0.122
9	12:20	80	30.6	35.5	33.2	28.5	421.0	1140.0	135.0	178.0	0.48	0.043
10	12:30	90	38.6	39.7	33.7	31.2	451.0	1195.0	148.0	262.0	0.47	0.050
11	12:40	100	30.8	34.7	34.1	30.7	254.0	289.0	91.0	81.0	0.43	0.097
12	12:50	110	33.2	35.8	34.0	32.7	320.0	1113.0	183.0	242.0	0.50	0.019
13	13:00	120	37.3	39.6	35.4	33.3	402.0	1052.0	113.0	164.0	0.48	0.042
14	13:10	130	36.8	38.2	35.7	32.2	411.9	1090.0	202.2	291.0	0.48	0.039
15	13:20	140	34.2	35.0	32.1	30.3	310.0	732.0	208.0	226.0	0.48	0.045
16	13:30	150	32.9	32.9	28.5	26.1	340.0	555.0	340.0	186.0	0.44	0.086
17	13:40	160	32.8	32.9	31.7	28.5	202.8	478.0	144.0	153.4	0.46	0.064
18	13:50	170	31.7	30.2	27.4	25.2	187.1	421.0	201.0	132.5	0.45	0.083
19	14:00	180	31.8	29.8	26.9	26.4	142.2	361.5	164.0	108.0	0.46	0.066
20	14:10	190	34.0	31.7	27.4	27.6	150.0	344.1	163.0	107.0	0.45	0.083
21	14:20	200	32.9	30.1	26.8	27.8	140.0	343.0	174.3	98.1	0.48	0.047
22	14:30	210	34.6	32.4	28.4	27.3	136.6	340.5	124.0	117.3	0.43	0.105
23	14:40	220	34.5	33.1	32.6	32.2	144.0	366.4	89.8	97.9	0.50	0.017
24	14:50	230	32.1	34.0	33.4	33.5	184.0	412.0	160.0	177.0	0.51	0.008
25	15:00	240	31.3	31.8	29.2	28.8	118.4	333.6	238.4	104.2	0.46	0.063
26	15:10	250	33.6	31.6	25.7	26.1	114.7	257.2	158.8	65.1	0.39	0.150
27	15:20	260	33.1	33.0	30.5	31.9	94.9	240.7	161.1	65.4	0.49	0.032
28	15:30	270	37.3	34.9	31.0	31.2	178.5	433.6	106.0	67.5	0.47	0.060
29	15:40	280	34.9	32.4	31.5	31.2	105.9	227.9	64.5	78.6	0.49	0.037
30	15:50	290	32.8	31.8	28.5	29.9	57.2	192.6	95.3	53.1	0.46	0.069

CONTINÚA 

Parámetros energéticos del Calentador Parabólico y Radiación Solar Local, Ensayo 4:...

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	CALENTADOR PARABÓLICO					RADIACIÓN			η	U(T2-Tman)/Ig
			T1 °C	T2 °C	Tbot °C	Tman °C	Is W/m ²	Ig W/m ²	Id W/m ²	Ia W/m ²		
31	16:00	300	32.0	31.7	27.6	28.8	67.1	164.4	64.9	42.2	0.41	0.123
32	16:10	310	32.6	30.3	27.0	28.8	60.1	130.0	61.0	47.2	0.45	0.081
33	16:20	320	30.4	30.1	26.6	27.4	75.0	142.0	55.1	52.0	0.40	0.133
34	16:30	330	31.2	30.1	27.7	29.5	67.5	130.0	50.0	44.4	0.49	0.032
35	16:40	340	30.5	29.1	27.3	28.5	77.3	163.8	65.4	51.5	0.49	0.026
36	16:50	350	29.6	28.7	27.4	28.6	47.1	103.1	46.9	49.2	0.51	0.007
37	17:00	360	27.7	28.6	25.4	27.3	34.0	63.0	31.4	21.3	0.39	0.144
38	17:10	370	28.3	28.0	26.3	26.4	30.5	50.3	20.9	17.2	0.33	0.223
39	17:20	380	26.7	27.5	24.8	26.9	18.6	52.8	12.4	10.8	0.45	0.080
40	17:30	390	27.4	28.3	26.4	26.9	52.3	162.0	24.8	53.9	0.46	0.060
41	17:40	400	25.7	26.8	26.4	25.5	137.1	328.0	14.4	38.8	0.49	0.028
42	17:45	405	25.7	25.3	24.2	25.0	13.4	42.2	7.4	6.6	0.47	0.050
PROMEDIO			32.3	32.8	29.5	28.9	179.9	478.3	138.8	117.7	0.46	0.072
MÁXIMO			38.6	39.7	37.4	33.5	461.0	1338.0	428.7	303.8	0.51	0.234
MÍNIMO			25.7	25.3	24.2	25.0	13.4	42.2	7.4	6.6	0.32	0.007

De acuerdo con la figura 42, los valores máximo, mínimo y promedio de la irradiancia global son:

Ig max: 1338.0 (W/m²)

Ig min: 42.2 (W/m²)

Ig prom: 478.3 (W/m²)

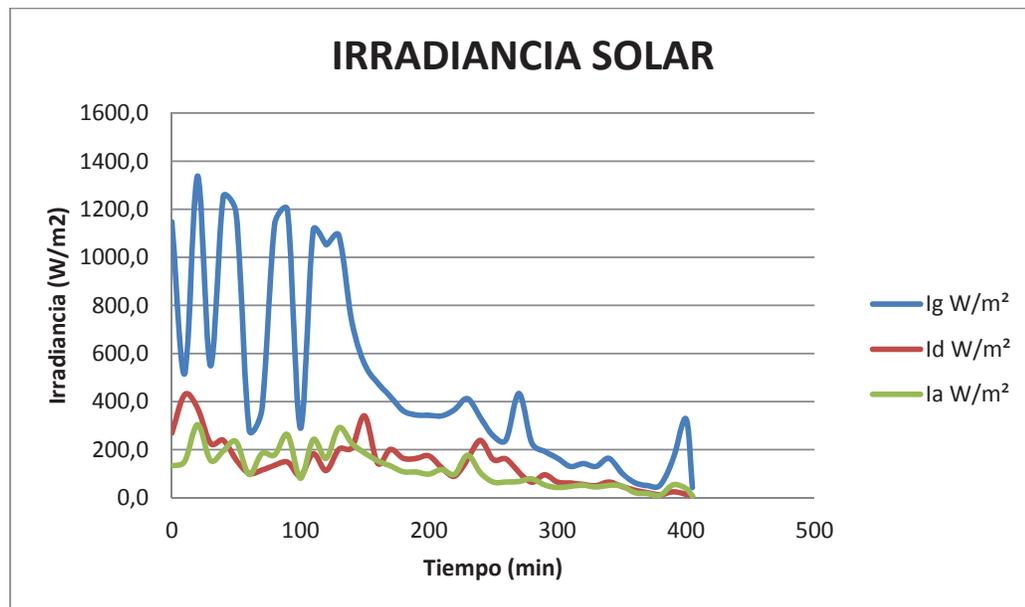


Figura 42 Curvas de radiación solar, ensayo 4

Observando el dato de irradiancia máxima de 1338 W/m^2 , se puede indicar que en el sector de Pimán, se sobrepasa el valor de la media mundial de la irradiancia de 1000 W/m^2 . La irradiancia global mínima es de 42.2 W/m^2 , este valor es inferior a los 250 W/m^2 , que es el mínimo para considerarlo de insolación máxima.

Para el caso de la radiación difusa se obtuvieron los siguientes valores:

Id max: $428.7 \text{ (W/m}^2)$

Id min: $7.4 \text{ (W/m}^2)$

Id prom: $138.8 \text{ (W/m}^2)$

La irradiancia difusa máxima de 428.7 W/m^2 , indica que es superior al valor de 250 W/m^2 , pudiendo indicarse que la radiación de la bóveda celeste tiene una importante contribución a la radiación global.

Por otra parte la hierba, emite la radiación de albedo de la siguiente manera:

la max: $303.8 \text{ (W/m}^2)$

la min: $6.6 \text{ (W/m}^2)$

la prom: $117.7 \text{ (W/m}^2)$

La radiación de albedo máxima del suelo indica que la claridad es de 22.7% . También, es necesario conocer la irradiancia de la superficie del colector y compararlo con la Irradiancia global.

A continuación, se realiza el grafico de la irradiancia del colector para compararlo con la irradiancia global.

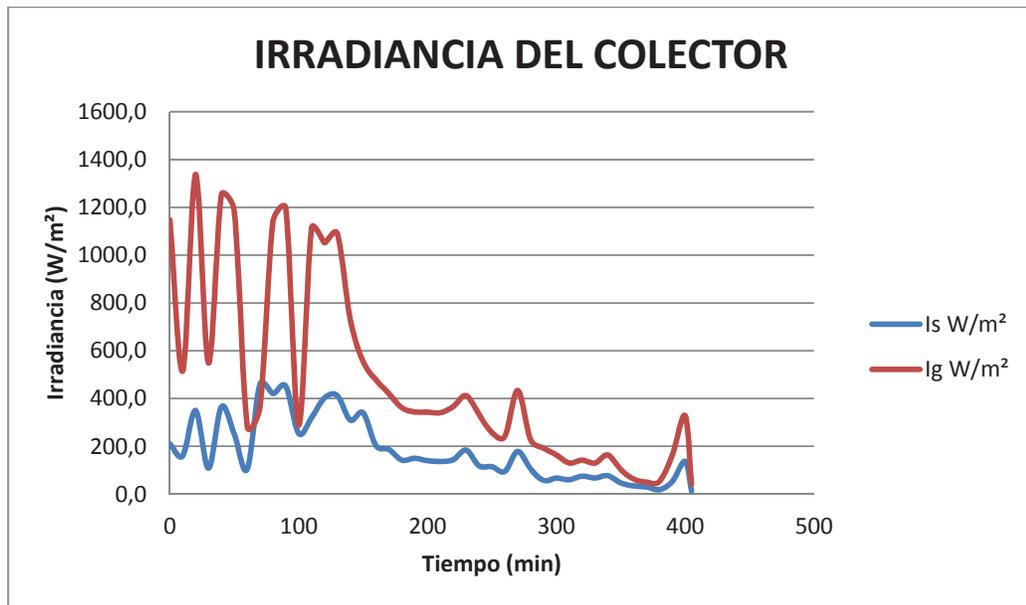


Figura 43 Curvas de irradiación del colector y solar global, ensayo 4

Observando la figura 43, se tiene los siguientes valores:

Is máx: 461 (W/m²)

Is mín: 13.4 (W/m²)

Is prom: 179.9 (W/m²)

Ig máx: 1338 (W/m²)

Ig mín: 42.2 (W/m²)

Ig prom: 478.3 (W/m²)

Al establecer la diferencia entre la irradiación global máxima de 1338 W/m², y la irradiación máxima del colector, el valor es de 877 W/m².

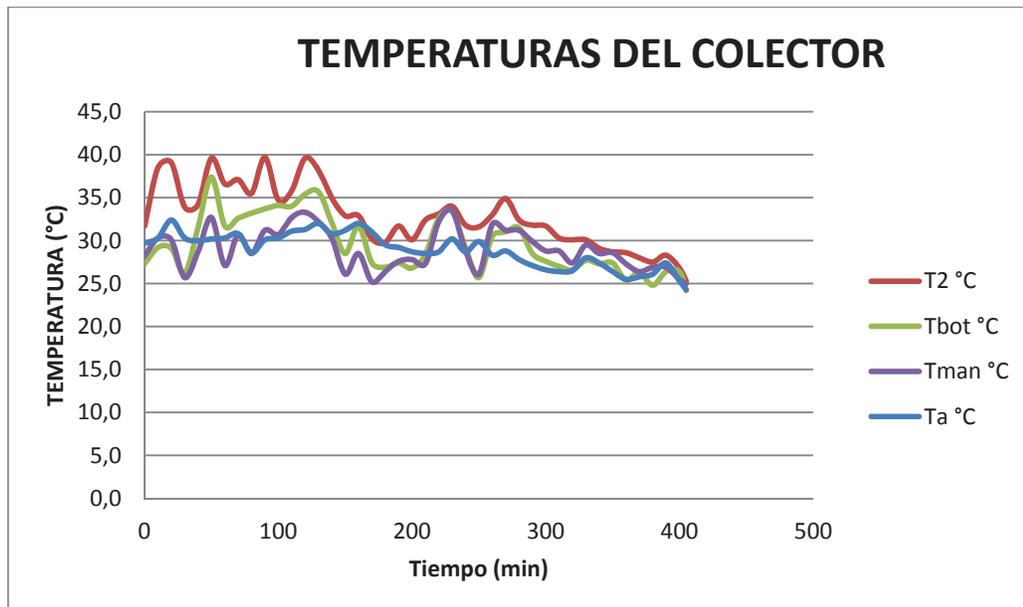


Figura 44 Curvas de temperaturas del colector solar parabólico, ensayo 4

Los datos de temperatura en el colector solar se indican a continuación:

T2 máx: 39.7 °C

T2 mín: 25.3 °C

T2 prom: 32.8 °C

Tbot máx: 37.4 °C

Tbot mín: 24.2 °C

Tbot prom: 29.5 °C

Tman máx: 33.5 °C

Tman mín: 25 °C

Tman prom: 28.9 °C

Ta máx: 32.4 °C

Ta mín: 24.3 °C

Ta prom: 28.9 °C

La temperatura máxima de salida del agua es de 39.7 °C mientras que la de ingreso al captador es de 25 °C, si se considera la medición realizada de

manera indirecta en la manguera, a la sombra. Las temperaturas máximas y mínimas de la botella de PET son 37.4 °C y 24.2 °C.

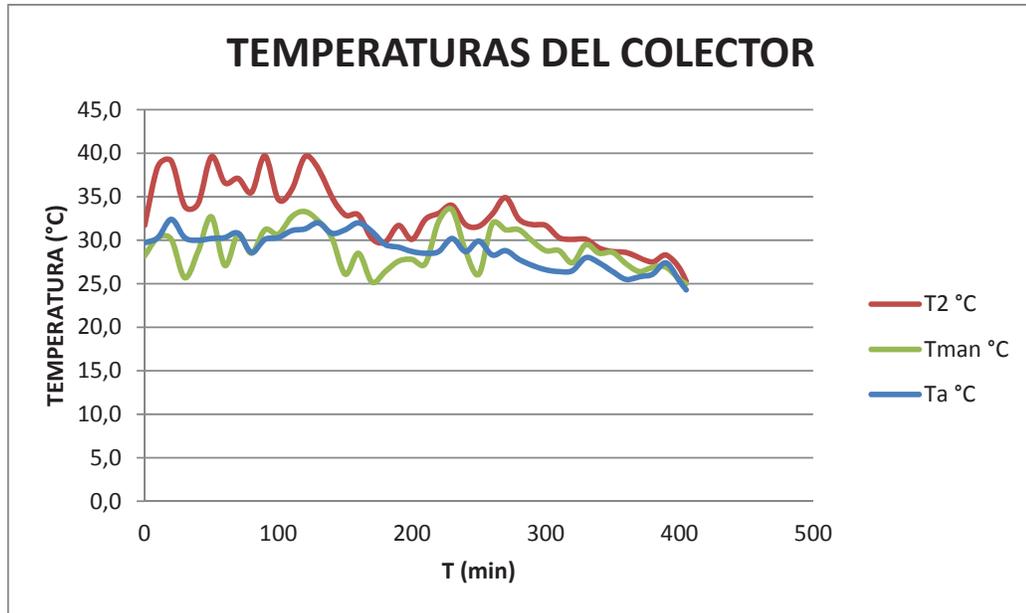


Figura 45 Curvas de temperaturas del colector, ensayo 4

Los datos de temperatura de la manguera y de la salida del captador son los siguientes:

T2 máx: 39.7 °C

T2 mín: 25.3 °C

T2 prom: 32.8 °C

Tman máx: 33.5 °C

Tman mín: 25 °C

Tman prom: 28.9 °C

La variación de temperaturas de la manguera y de T2 tiene un comportamiento estable con valores máximos de 33.5 °C y 39.7 °C.

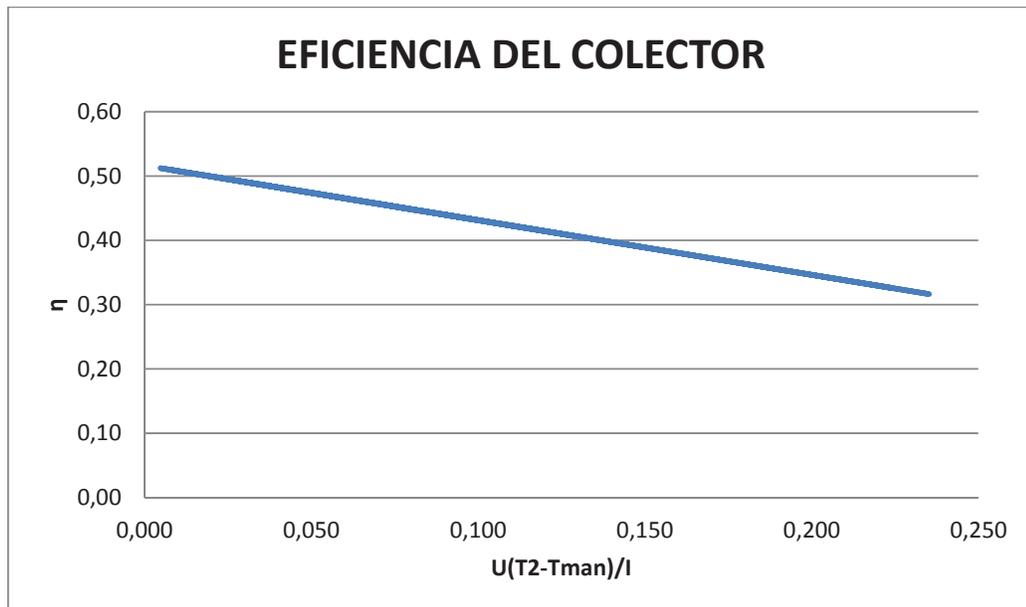


Figura 46 Curva de eficiencia energética del colector, ensayo 4

Aquí se puede observar que la curva de eficiencia del colector tiene pendiente negativa.

La eficiencia energética del colector es:

η máx: 0.51

η min: 0.32

η prom: 0.46

Tabla 9

Parámetros energéticos de la piscina y del ambiente, Ensayo 4

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	AMBIENTE			PISCINA			
			Ta °C	Hr %	Vviento m/s	ThB °C	ThA °C	Tp °C	Ts °C
1	11:00	0	29.7	24.0	0.8	25.9	24.9	26.0	26.2
2	11:10	10	30.3	25.0	0.8	25.5	24.7	25.6	26.0
3	11:20	20	32.4	23.0	1.3	28.0	27.1	25.6	25.5
4	11:30	30	30.3	22.0	1.5	27.6	26.7	25.5	26.1
5	11:40	40	30.0	22.0	2.5	28.2	26.9	25.8	26.4
6	11:50	50	30.2	23.0	0.3	28.7	27.3	25.4	26.3
7	12:00	60	30.3	23.0	0.2	29.2	28.1	25.9	26.7
8	12:10	70	30.8	23.0	1.5	29.1	28.8	26.4	27.3
9	12:20	80	28.6	23.0	1.8	28.4	27.7	27.1	27.8
10	12:30	90	30.1	23.0	1.3	29.5	30.3	27.3	28.0
11	12:40	100	30.3	24.0	0.8	28.6	29.5	27.4	27.9
12	12:50	110	31.1	21.0	0.3	29.0	29.8	27.7	28.2
13	13:00	120	31.3	21.0	0.5	29.7	30.4	27.9	28.4
14	13:10	130	32.0	21.0	0.3	30.5	29.7	28.3	28.6
15	13:20	140	30.8	20.0	1.4	30.7	29.8	28.5	28.8
16	13:30	150	31.2	20.0	0.5	30.6	29.4	29.0	29.2
17	13:40	160	32.0	21.0	1.5	30.4	29.2	29.1	29.3
18	13:50	170	31.0	21.0	1.0	30.4	28.4	29.3	29.4
19	14:00	180	29.5	24.0	0.5	30.2	28.3	29.4	29.4
20	14:10	190	29.2	24.0	1.2	29.5	28.3	29.2	29.3
21	14:20	200	28.7	25.0	1.5	29.3	28.3	29.2	29.1
22	14:30	210	28.5	25.0	0.8	29.3	28.3	29.1	29.2
23	14:40	220	28.7	25.0	3.1	29.3	28.3	29.1	29.1
24	14:50	230	30.2	24.0	0.3	31.8	28.3	29.0	29.0
25	15:00	240	28.7	25.0	1.5	29.2	28.3	28.9	28.9
26	15:10	250	29.9	24.0	1.9	29.2	28.3	28.9	29.0
27	15:20	260	28.3	26.0	0.4	29.2	28.3	29.1	29.1
28	15:30	270	28.8	26.0	2.9	29.2	28.2	29.2	29.1
29	15:40	280	27.8	28.0	1.6	29.2	28.3	29.1	29.0
30	15:50	290	27.1	29.0	1.2	29.3	28.3	29.1	29.1

CONTINÚA



Parámetros energéticos de la piscina y del ambiente, Ensayo 4:...

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	AMBIENTE			PISCINA			
			Ta °C	Hr %	Vviento m/s	ThB °C	ThA °C	Tp °C	Ts °C
31	16:00	300	26.6	32.0	0.5	29.2	28.2	29.2	29.1
32	16:10	310	26.4	31.0	1.2	29.1	28.2	29.0	29.0
33	16:20	320	26.5	31.0	1.5	28.7	27.9	28.7	28.6
34	16:30	330	28.0	29.0	0.8	28.7	28.0	28.7	28.6
35	16:40	340	27.4	30.0	3.1	28.6	28.0	28.6	28.6
36	16:50	350	26.4	31.0	0.3	28.7	28.0	28.8	28.7
37	17:00	360	25.5	32.0	1.5	28.7	27.9	28.7	28.7
38	17:10	370	25.8	32.0	1.3	28.6	27.8	28.6	28.5
39	17:20	380	26.1	30.0	1.4	28.6	27.9	28.6	28.5
40	17:30	390	27.4	28.0	1.2	28.1	27.5	28.5	28.3
41	17:40	400	25.3	31.0	0.9	28.0	27.6	28.2	28.1
42	17:45	405	24.3	32.0	1.0	28.0	27.7	28.1	28.1
PROMEDIOS			28.9	25.6	1.2	29.0	28.2	28.1	28.3
MÁXIMO			32.4	32.0	3.1	31.8	30.4	29.4	29.4
MÍNIMO			24.3	20.0	0.2	25.5	24.7	25.4	25.5

ENSAYO 4 (PISCINA)

A continuación se presentan las curvas de temperatura de entrada de agua caliente suministrada por el colector 1-2 y 3-4.

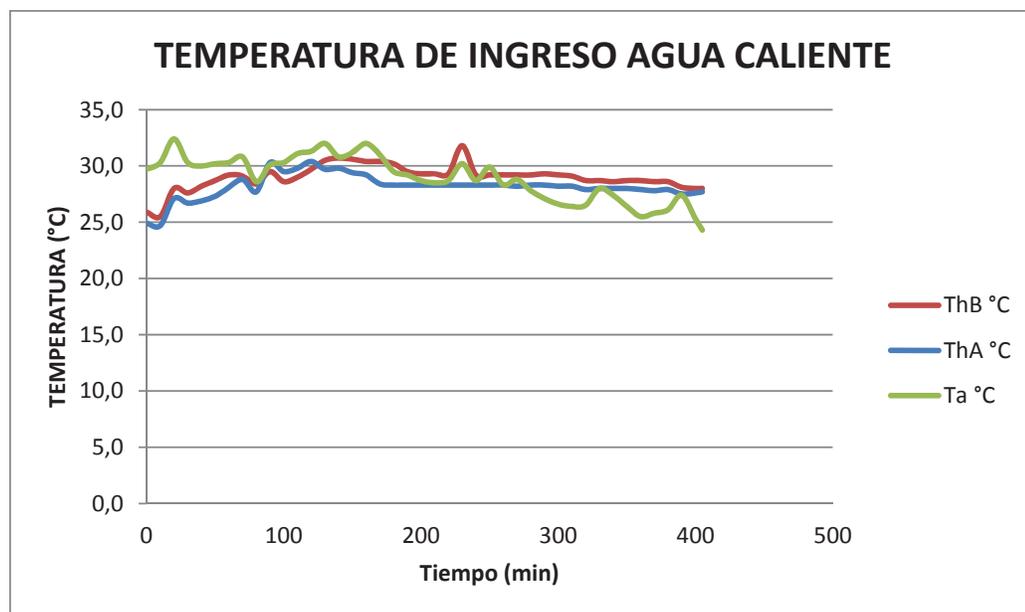


Figura 47 Curvas de temperatura de ingreso de agua caliente, ensayo 4

Los valores de referencia son:

ThA máx: 30.4 °C

ThA mín: 24.7 °C

ThA prom: 28.2 °C

ThB máx: 31.8 °C

ThB mín: 29 °C

ThB prom: 25.5 °C

Ta máx: 32.4 °C

Ta mín: 24.3 °C

Ta prom: 28.9 °C

El agua caliente de los colectores tiene una temperatura máxima y mínima para los colectores 1-2 de 30.4 °C y mínima de 24.7 °C.

El agua caliente de los colectores tiene una temperatura máxima y mínima para los colectores 3-4 de 31.8 °C y mínima de 25.5 °C.

Se presenta el siguiente grafico para verificar el calentamiento solar la piscina.

Ts máx: 29.4 °C

Ts mín: 25.5 °C

Ts prom: 28.3 °C

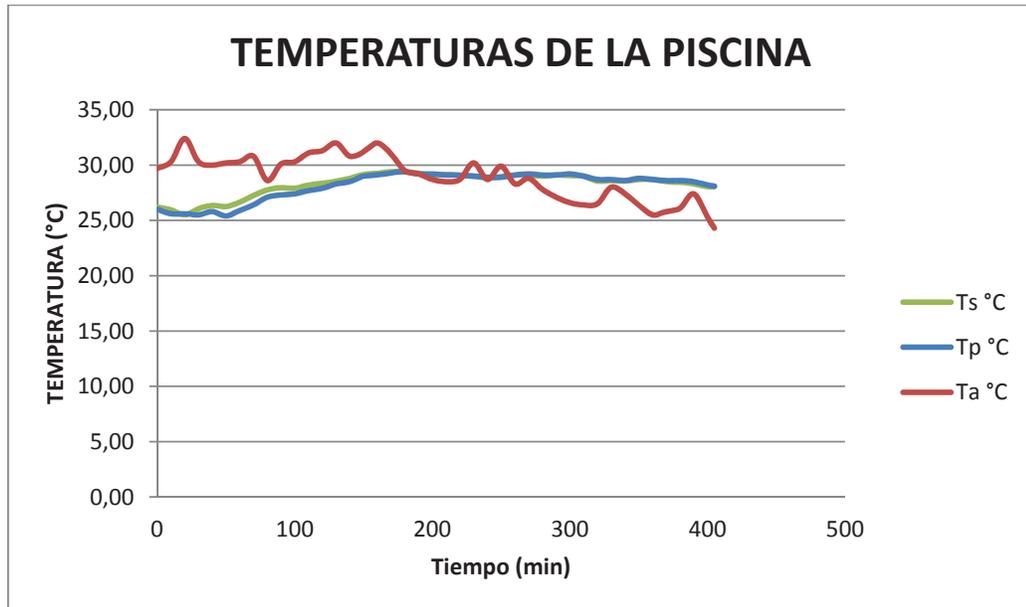


Figura 48 Curvas de temperatura de la piscina, ensayo 4

El valor de temperatura de 29.4 °C, indica que se consigue la temperatura mínima de confort, se puede observar que el valor de temperatura inicial en la piscina estuvo con un valor de 25.5 °C.

Tabla 10

Parámetros energéticos del Calentador Parabólico y Radiación Solar Local, Ensayo 5

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	CALENTADOR PARABÓLICO					RADIACIÓN			η	U(T2-Tman)/I _g
			T1 °C	T2 °C	T _{bot} °C	T _{man} °C	I _s W/m ²	I _g W/m ²	I _d W/m ²	I _a W/m ²		
1	9:00	0	22.8	23.2	23.1	23.1	78.3	203.5	96.2	47.6	0.51	0.00
2	9:10	10	23.8	24.7	24.2	23.2	97.4	288.6	103.8	69.5	0.49	0.04
3	9:20	20	24.3	28.2	27.1	25.3	101.8	253.7	99.4	64.6	0.45	0.08
4	9:30	30	23.3	24.1	22.5	21.9	97.3	258.4	103.0	164.3	0.47	0.06
5	9:40	40	27.3	23.5	31.3	22.1	304.0	970.0	162.0	281.0	0.51	0.01
6	9:50	50	28.2	27.1	25.2	24.7	181.4	104.5	182.2	250.3	0.38	0.16
7	10:00	60	27.6	27.5	26.2	26.4	72.9	206.6	102.9	55.4	0.48	0.04
8	10:10	70	26.3	25.9	24.3	24.4	60.2	136.3	47.9	41.3	0.45	0.08
9	10:20	80	28.8	33.0	29.6	27.2	68.9	955.3	196.5	237.8	0.48	0.04
10	10:30	90	26.9	38.4	34.3	31.9	306.1	1070.0	218.3	186.8	0.48	0.04
11	10:40	100	24.9	36.1	32.1	29.8	302.9	422.7	134.0	246.3	0.43	0.10
12	10:50	110	29.3	34.4	29.2	28.3	290.3	972.2	146.3	228.8	0.48	0.04
13	11:00	120	32.5	39.5	32.4	31.2	409.9	1079.0	160.3	208.3	0.47	0.05
14	11:10	130	31.5	31.7	27.5	27.6	134.4	440.9	103.0	97.0	0.46	0.07
15	11:20	140	31.1	31.8	29.4	29.7	128.9	398.6	133.6	98.4	0.49	0.04
16	11:30	150	32.3	33.9	33.3	30.7	542.0	1205.0	232.0	340.0	0.50	0.02
17	11:40	160	33.8	37.3	32.3	31.0	182.5	1238.0	111.2	138.8	0.49	0.04
18	11:50	170	37.1	37.3	29.6	28.9	138.1	1364.0	133.0	87.3	0.48	0.04
19	12:00	180	27.2	29.5	26.4	25.7	216.0	479.0	168.0	124.0	0.47	0.06
20	12:10	190	29.0	30.6	27.5	27.3	168.7	446.7	117.8	100.5	0.47	0.05
21	12:20	200	32.7	34.4	30.4	30.9	198.0	541.7	173.0	128.7	0.48	0.05
22	12:30	210	35.7	36.1	31.7	31.5	214.7	520.0	185.0	139.3	0.46	0.06
23	12:40	220	34.0	33.2	28.1	28.7	175.0	420.1	134.3	116.8	0.45	0.07
24	12:50	230	33.1	37.5	32.7	34.8	212.9	495.0	207.0	143.0	0.48	0.04
25	13:00	240	35.8	38.4	35.2	32.1	443.0	1169.0	187.0	316.5	0.48	0.04

CONTINÚA 

Parámetros energéticos del Calentador Parabólico y Radiación Solar Local, Ensayo 5:...

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	CALENTADOR PARABÓLICO					RADIACIÓN			η	U(T2-Tman)/I _g
			T1 °C	T2 °C	T _{bot} °C	T _{man} °C	I _s W/m ²	I _g W/m ²	I _d W/m ²	I _a W/m ²		
26	13:10	250	35.5	37.2	28.9	31.7	416.0	1136.0	183.0	290.5	0.49	0.03
27	13:20	260	37.3	34.6	27.5	31.8	235.0	719.0	170.0	219.0	0.49	0.03
28	13:30	270	34.1	32.4	28.7	27.6	234.0	1153.0	167.0	195.0	0.49	0.03
29	13:40	280	41.4	41.1	37.3	35.9	452.0	1090.0	165.0	314.0	0.49	0.03
30	13:50	290	37.1	34.3	31.2	30.1	156.8	361.1	109.0	105.5	0.45	0.08
31	14:00	300	36.8	35.7	32.6	30.0	177.3	457.0	270.0	128.0	0.44	0.09
32	14:10	310	28.0	30.5	26.7	26.3	172.3	360.0	135.7	110.1	0.45	0.08
33	14:20	320	30.2	29.8	27.3	26.1	177.2	396.5	120.6	126.1	0.46	0.07
34	14:30	330	33.8	34.9	35.9	32.7	229.0	482.0	185.0	145.0	0.49	0.03
35	14:40	340	32.6	30.1	25.4	26.6	134.7	291.0	62.5	95.7	0.44	0.08
36	14:50	350	38.7	38.6	40.2	34.1	206.0	386.0	148.8	138.7	0.45	0.08
37	15:00	360	34.4	37.3	36.5	31.2	287.1	695.0	151.0	231.0	0.46	0.06
38	15:10	370	30.8	30.7	28.5	28.0	124.2	276.4	156.5	93.6	0.46	0.07
PROMEDIO			31.3	32.8	29.8	28.7	213.9	616.9	149.0	160.6	0.47	0.055
MÁXIMO			41.4	41.1	40.2	35.9	542.0	1364.0	270.0	340.0	0.51	0.161
MÍNIMO			22.8	23.2	22.5	21.9	60.2	104.5	47.9	41.3	0.38	0.003

ENSAYO 5 (PISCINA)

Tabla 11
Parámetros energéticos de la piscina y del ambiente, Ensayo 5

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	AMBIENTE			PISCINA			
			Ta °C	Hr %	Vviento m/s	ThB °C	ThA °C	Tp °C	Ts °C
1	9:00	0	22.9	48.0	0.3	24.3	23.9	24.9	24.7
2	9:10	10	23.5	44.0	0.3	23.9	23.9	24.9	24.7
3	9:20	20	24.0	43.0	2.4	24.3	23.8	25.0	24.7
4	9:30	30	24.4	43.0	0.1	23.5	23.8	24.9	24.7
5	9:40	40	24.5	42.0	2.4	24.2	23.8	25.0	24.8
6	9:50	50	24.7	41.0	0.5	24.0	24.2	25.1	24.9
7	10:00	60	24.4	39.0	0.4	24.3	24.0	25.2	25.0
8	10:10	70	23.9	41.0	0.5	24.3	24.0	25.2	25.0
9	10:20	80	25.1	40.0	1.5	24.6	24.1	25.2	25.1
10	10:30	90	24.8	43.0	1.4	24.2	23.1	25.2	25.1
11	10:40	100	25.4	40.0	0.3	24.5	24.6	25.4	25.3
12	10:50	110	26.4	35.0	1.9	24.8	24.8	25.7	25.4
13	11:00	120	27.3	33.0	0.8	25.1	25.1	26.0	25.9
14	11:10	130	28.6	28.0	0.8	25.0	25.0	26.3	26.0
15	11:20	140	27.8	30.0	1.3	25.3	25.3	26.4	26.1
16	11:30	150	28.7	30.0	1.5	26.6	25.9	26.2	25.9
17	11:40	160	29.7	30.0	2.5	25.5	25.4	26.5	26.3
18	11:50	170	30.4	25.0	0.3	25.5	27.6	26.6	26.3
19	12:00	180	30.0	26.0	0.2	34.4	25.6	26.6	26.3
20	12:10	190	29.6	26.0	1.5	26.5	26.4	27.2	27.0
21	12:20	200	30.1	26.0	1.8	26.5	26.4	27.2	26.9
22	12:30	210	30.6	28.0	1.3	26.2	26.1	27.1	26.7
23	12:40	220	29.9	26.0	1.4	26.4	26.3	27.3	26.9
24	12:50	230	29.4	29.0	1.6	27.1	26.8	27.7	27.3
25	13:00	240	29.8	30.0	1.8	27.0	30.9	27.6	27.1

CONTINÚA 

Parámetros energéticos de la piscina y del ambiente, Ensayo 5:...

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	AMBIENTE			PISCINA			
			Ta °C	Hr %	Vviento m/s	ThB °C	ThA °C	Tp °C	Ts °C
26	13:10	250	30.2	27.0	0.9	26.7	26.8	27.7	27.3
27	13:20	260	29.9	27.0	1.2	26.9	26.8	27.7	27.4
28	13:30	270	29.9	26.0	1.6	32.2	27.2	27.8	27.4
29	13:40	280	31.2	26.0	1.2	27.5	37.8	28.2	27.7
30	13:50	290	32.1	24.0	0.9	27.1	27.1	28.0	27.8
31	14:00	300	30.2	24.0	0.8	28.2	28.0	28.4	28.2
32	14:10	310	30.1	24.0	1.2	37.4	28.1	28.5	28.2
33	14:20	320	30.1	24.0	1.3	28.1	28.0	28.3	28.1
34	14:30	330	29.5	24.0	1.5	28.5	28.4	28.6	28.4
35	14:40	340	29.3	25.0	1.3	28.2	28.1	28.4	28.1
36	14:50	350	30.0	23.0	2.3	28.2	28.1	28.5	28.1
37	15:00	360	30.8	21.0	1.3	33.6	30.5	28.5	28.0
38	15:10	370	28.4	25.0	1.9	27.7	27.6	28.1	27.9
PROMEDIO			28.1	31.2	1.2	26.8	26.4	26.8	26.5
MÁXIMO			32.1	48.0	2.5	37.4	37.8	28.6	28.4
MÍNIMO			22.9	21.0	0.1	23.5	23.1	24.9	24.7

5.2. Estadísticas del proceso

Se procede a realizar el análisis de datos en lo que tiene que ver con la elaboración de curvas, datos promedio y valores máximos y mínimos, utilizando los parámetros energéticos obtenidos en el colector N° 4, que se ha seleccionado para el análisis dados los aspectos físicos y funcionales adecuados de este componente. Además, el aporte solar para el calentamiento de la piscina llega de los colectores 1, 2 y 3. Los parámetros analizados son irradiancia solar la misma que comprende radiación global, difusa y albedo de la hierba; en cuanto al colector se mide la irradiancia de la superficie y se la compara con la irradiancia global, en lo referente al colector parabólico se analiza la temperatura la de entrada de agua fría al colector, la temperatura de salida de agua caliente, la temperatura de la tubería, cubierta

absorbente y desde luego la temperatura ambiental. A continuación se analizan las siguientes graficas:

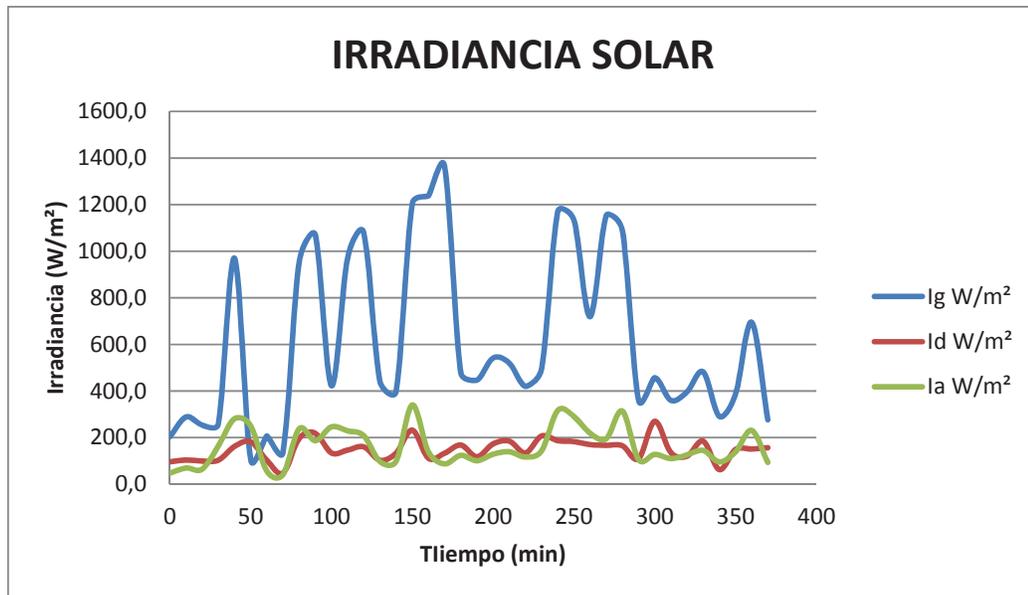


Figura 49 Curvas de radiación solar

De acuerdo con la figura 49, los valores máximo, mínimo y promedio de la irradiación global son:

I_g máx: 1364.0 (W/m²)

I_g mín: 104.5 (W/m²)

I_g prom: 616.9 (W/m²)

Observando el dato de irradiación máxima de 1364 W/m², se puede indicar que en el sector de Pimán, se sobrepasa el valor de la media mundial de la irradiación de 1000 W/m². La irradiación global mínima es de 104.5 W/m², este valor es inferior a los 250 W/m², que es el mínimo para considerarlo de insolación máxima.

Para el caso de la radiación difusa se obtuvieron los siguientes valores:

I_d máx: 270.0 (W/m²)

I_d mín: 47.9 (W/m²)

I_d prom: 149.0 (W/m²)

La irradiancia difusa máxima de 270 W/m^2 , indica que es superior al valor de 250 W/m^2 , pudiendo indicarse que la radiación de la bóveda celeste tiene una importante contribución a la radiación global.

Por otra parte la hierba, emite la radiación de albedo de la siguiente manera:

la máx: $340.0 \text{ (W/m}^2)$

la mín: $41.3 \text{ (W/m}^2)$

la prom: $160.6 \text{ (W/m}^2)$

La radiación de albedo máxima del suelo indica que la claridad tiene un valor de 24.92% .

También, es necesario conocer la irradiancia de la superficie del colector y compararlo con la Irradiancia global.

A continuación, se realiza el grafico de la irradiancia del colector para compararlo con la irradiancia global.

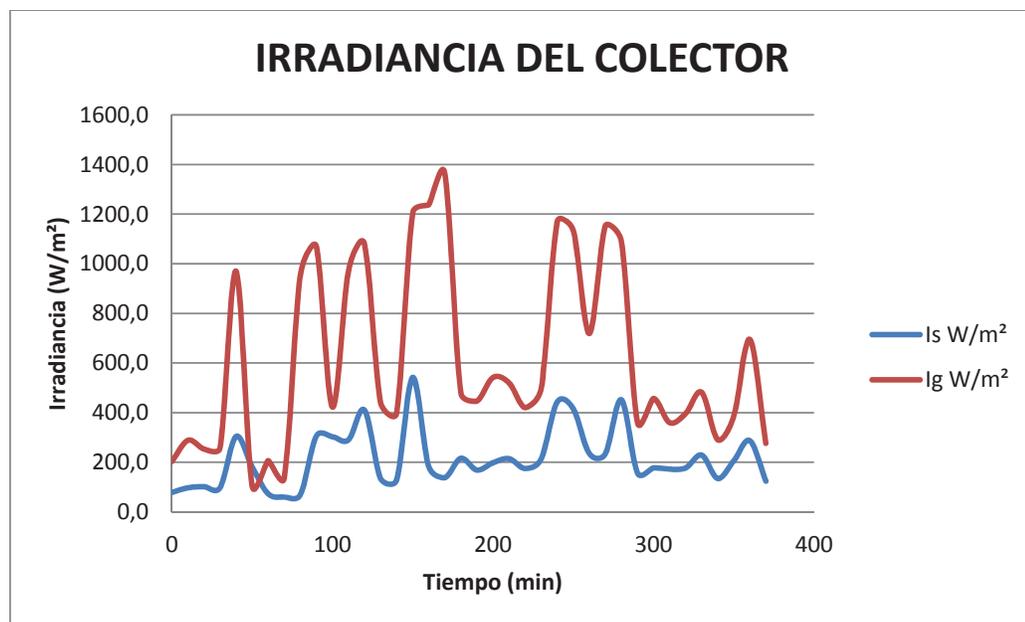


Figura 50 Curvas de irradiancia del colector y solar global

Observando la figura 50 se tiene que el pico máximo de la irradiancia de la pared del colector ocurre a los 170 min del ensayo y su valor es de 542 W/m². Los demás valores se los puede ver a continuación:

Is máx: 542.0 (W/m²)

Is mín: 60.2 (W/m²)

Is prom: 213.9 (W/m²)

Ig máx: 1364.0 (W/m²)

Ig mín: 104.5 (W/m²)

Ig prom: 616.9 (W/m²)

Al establecer la diferencia entre la irradiancia global máxima de 1364 W/m², y la irradiancia máxima del colector, el valor es de 822 W/m².

Continuando con el análisis de las curvas y datos obtenidos en los ensayos se tiene los perfiles de temperaturas puntuales que a lo largo del tiempo se registran en el colector solar.

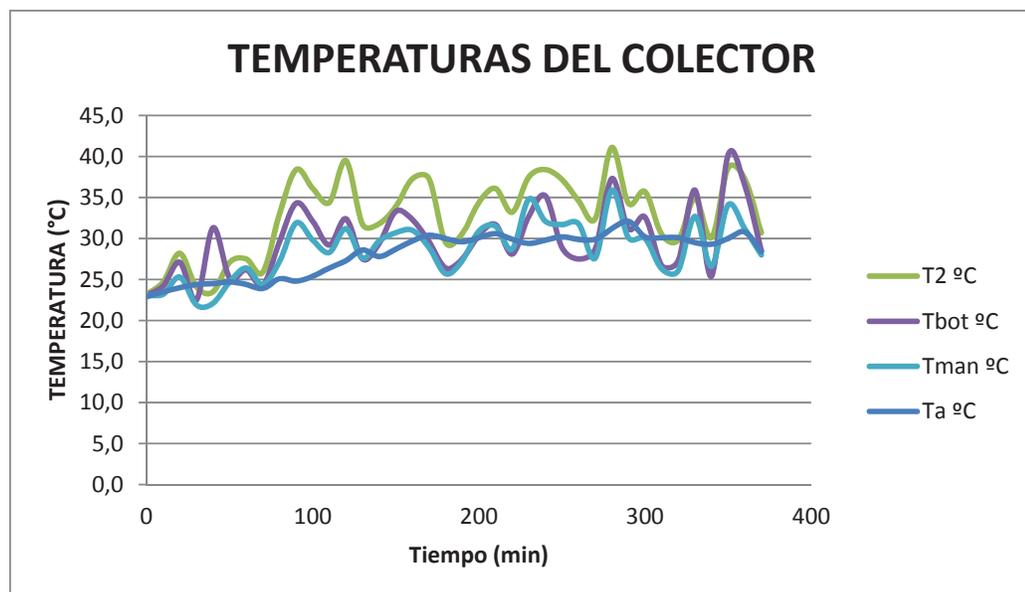


Figura 51 Curvas de temperaturas del colector solar parabólico

Los datos de referencia son:

T2 máx: 41.1 °C

T2 mín: 23.2 °C

T2 prom: 32.8 °C

Tbot máx: 40.2 °C

Tbot mín: 22.5 °C

Tbot prom: 29.8 °C

Tman máx: 35.9 °C

Tman mín: 21.9 °C

Tman prom: 28.7 °C

Ta máx: 32.1 °C

Ta mín: 22.9 °C

Ta prom: 28.1 °C

La temperatura máxima de salida del agua es de 41.1 °C mientras que la mínima de ingreso al captador es de 21.9 °C si se considera la medición realizada de manera indirecta en la manguera, a la sombra. Por otra parte las temperaturas máximas y mínimas de la botella de PET son 40.2 °C y 22.5 °C.

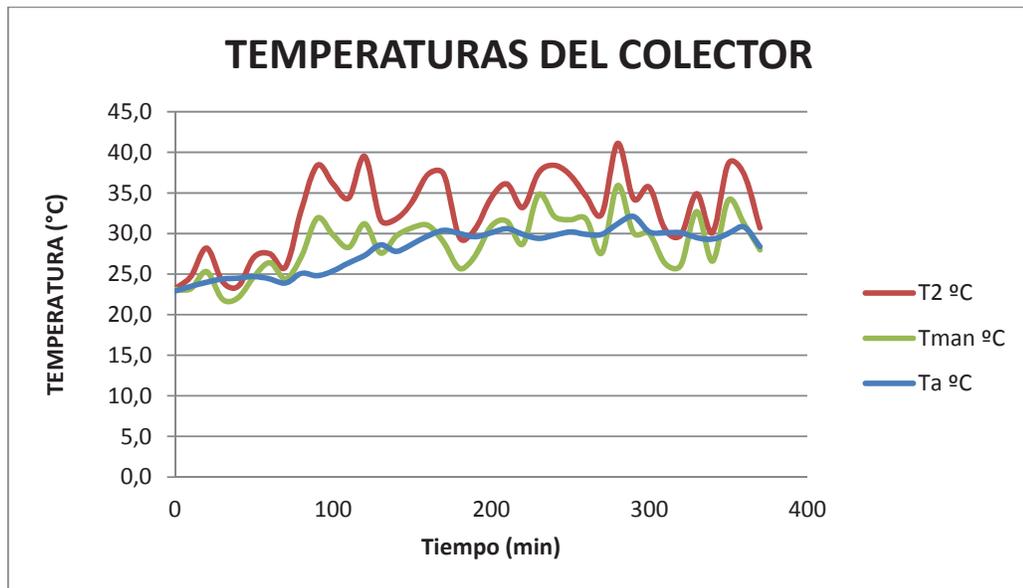


Figura 52 Curvas de temperatura del colector

En esta parte del análisis se considera la temperatura de la manguera y de la salida del captador para encontrar la eficiencia energética del sistema.

Los datos obtenidos son los siguientes:

T2 máx: 41.1 °C

T2 mín: 23.2 °C

T2 prom: 32.8 °C

Tman máx: 35.9 °C

Tman mín: 21.9 °C

Tman prom: 28.7 °C

Ta máx: 32.1 °C

Ta mín: 22.9 °C

Ta prom: 28.1 °C

Como resultado fundamental de esta investigación se obtiene la curva de eficiencia del colector solar parabólico la misma que representa una línea recta con pendiente negativa, con un valor promedio de 47%.

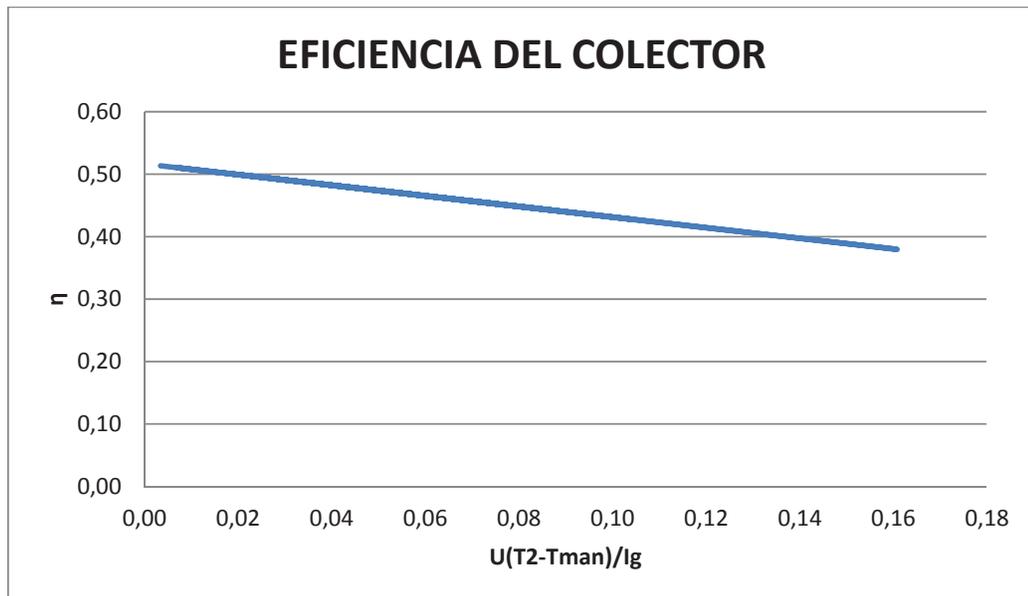


Figura 53 Curvas de eficiencia energética del colector

Los datos calculados para la eficiencia energética del colector, en valores máximos, mínimo y promedio se indican a continuación:

η máx: 0.51

η mín: 0.38

η prom: 0.47

Si se compara la eficiencia de este colector solar fabricado de manera artesanal, con los captadores existentes en el estado del arte se puede elaborar el siguiente cuadro comparativo.

Tabla 12

Comparación de eficiencias energéticas de colectores solares

EQUIPO	η (%)
COLECTOR SOLAR CON TUBERIA DE COBRE	50
COLECTOR DE POLIPROPILENO IMPORTADO	60
COLECTOR DE TUBOS AL VACIO	80
CALENTADOR CON PET	47
CALENTADOR DE DOBLE CUBIERTA	39

El colector implementado en Tunas y Cabras alcanza una eficiencia del 47 %, que tiene un valor inferior a los colectores importados. Sin embargo en el aspecto ambiental tiene una menor huella ecológica por fabricarlo de manera artesanal y su costo es de 5 a 10 veces menor que los calentadores nacionales o importados. Además, la complejidad de fabricación es mínima.

PISCINA

En lo que tiene que ver con el estudio energético de la piscina se presentan las curvas de temperatura de entrada de agua caliente suministrada por los colectores 1-2 y 3-4

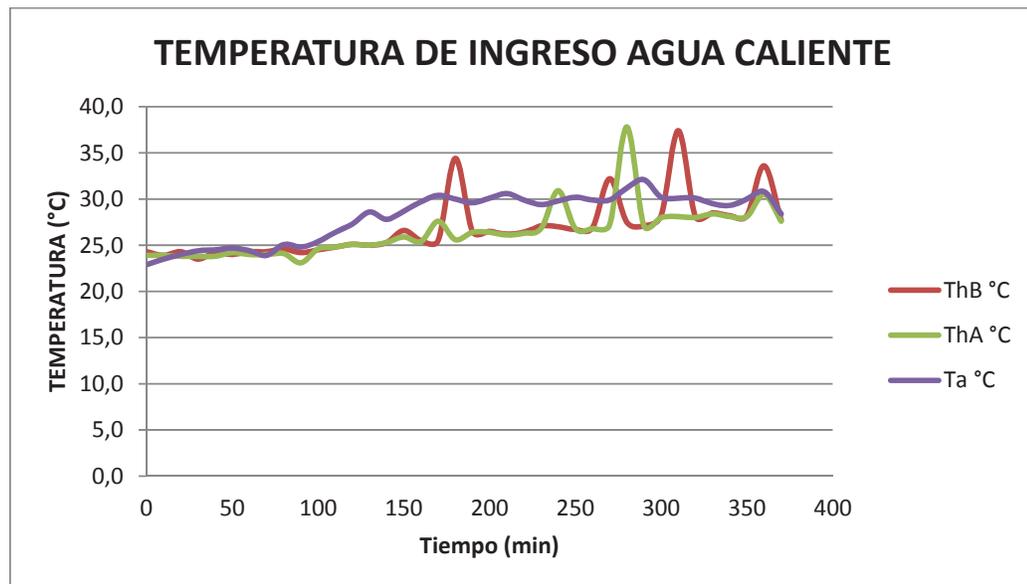


Figura 54 Curvas de temperatura de ingreso de agua caliente

Los valores de referencia son:

ThA máx: 37.8 °C

ThA mín: 23.1 °C

ThA prom: 26.4 °C

ThB máx: 37.4 °C

ThB mín: 23.5 °C

ThB prom: 26.8 °C

Ta máx: 32.1 °C

Ta mín: 22.9 °C

Ta prom: 28.1 °C

El agua caliente de los colectores 1 y 2 tienen una temperatura máxima de 37.8 °C y mínima de 23.1 °C. Los colectores 3 y 4 tienen una máxima de 37.4 °C y mínima de 23.5 °C

Para realizar la verificación de que con calentamiento solar la piscina alcanza los 28 °C, que es la temperatura de confort mínima, se presenta el siguiente gráfico.

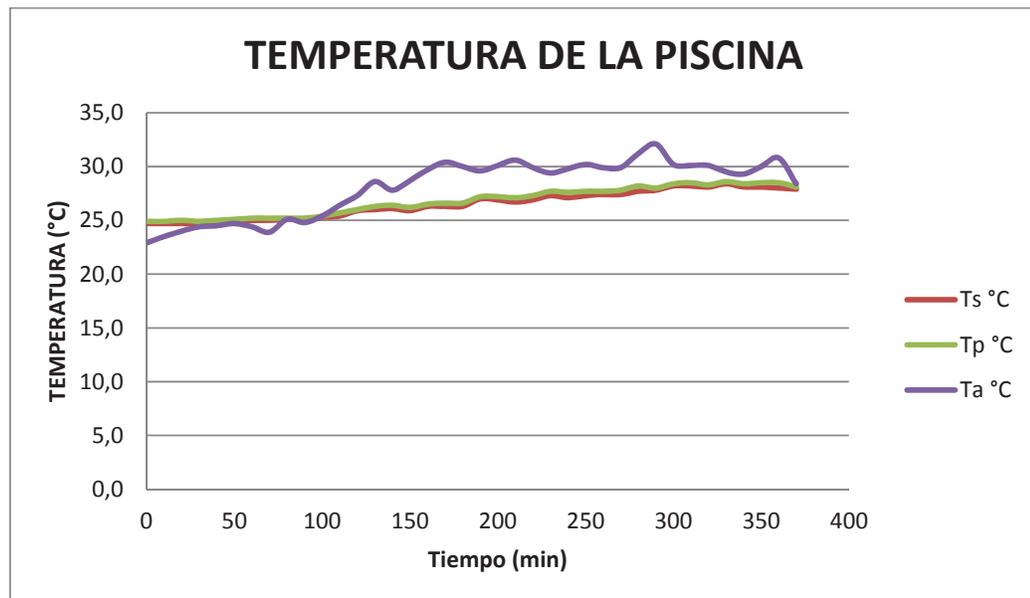


Figura 55 Curvas de temperatura de la piscina

Ts máx: 28.4 °C

Ts mín: 24.7 °C

Ts prom: 26.5 °C

El valor de temperatura de 28.4 °C, indica que se consigue la temperatura de confort mínimo utilizando como sistema de calentamiento el colector solar parabólico. Además, es necesario manifestar que se puede alcanzar una mayor temperatura si se ponen en funcionamiento los

colectores 5 y 6, los cuales han sido suspendidos debido al requerimiento que se tiene de abastecer de agua caliente sanitaria a las habitaciones de la hostería, por lo que los ensayos se han hecho en condiciones de requerimientos mínimos.

T_p máx: 28.6 °C

T_p mín: 24.9 °C

T_p prom: 26.8 °C

La temperatura promedio de pared de piscina es de 26.8 °C.

T_a máx: 32.1 °C

T_a mín: 22.9 °C

T_a prom: 28.1 °C

La temperatura ambiental promedio de 28.1 °C.

5.3. Caracterización energética de la piscina y captadores

En los 5 ensayos realizados, se ha logrado incrementar la temperatura de la piscina, del promedio de 22 °C hasta alcanzar los 28 °C, con un rango de variación de 4 a 7 °C, esto se puede observar en los datos de la Tabla 13.

Tabla 13
Valores de temperatura de la piscina

ENSAYO Orden No	PISCINA T_s °C
1	26.0
2	28,0
3	28,0
4	29.4
5	28.4

Para la determinación de la reducción de la temperatura de la piscina durante la noche se puede observar la figura 56, donde el gradiente alcanza 2.9 °C.

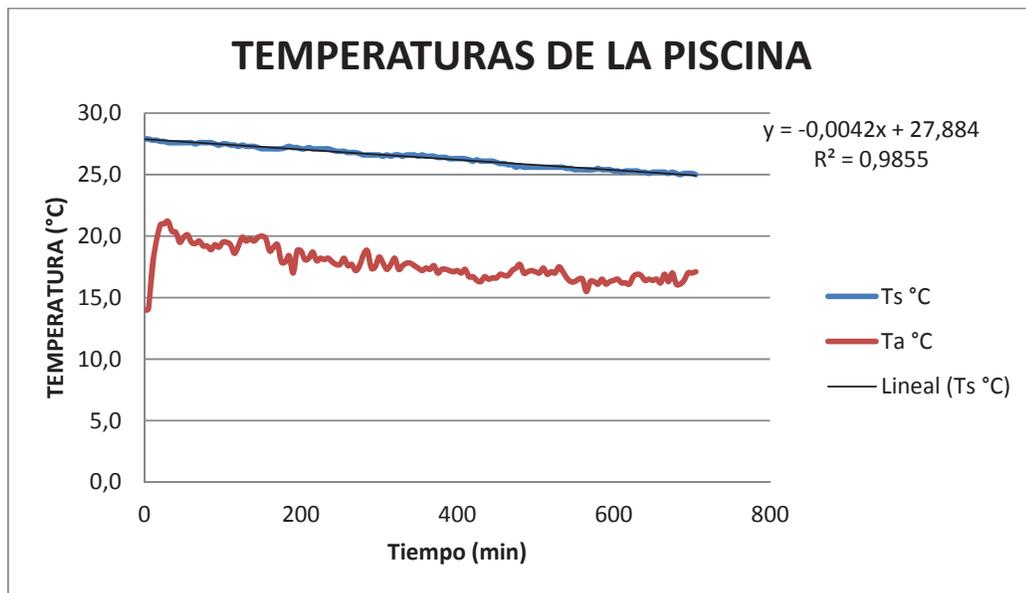


Figura 56 Curva de temperatura de enfriamiento de la piscina

Cálculos en MATHCAD

A continuación, se realizara el cálculo de las variables energéticas, utilizando el programa informático MathCad.

CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL AGUA DE LA PISCINA

La masa de agua a calentar es de 125000 Kg

$$M_t = 125000 \text{ (Kg)}$$

$$\delta_{agua} = 1000 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \quad \text{Densidad del agua}$$

$$V_t = M_t \text{ (m}^3\text{)} \quad \text{Volumen de calentamiento}$$

$$F_{cal} = 0.54 \quad \text{Factor de calentamiento uniforme}$$

Masa de agua a la temperatura de 28 °C

$$M_c = 6.75 \times 10^4 \text{ (Kg)}$$

$$Cp_{agua} = 1 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \quad \text{Calor específico del agua}$$

$$HSP = 5.5 \quad \text{Horas de sol pico}$$

$$T_{pool} = 28.4 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Temperatura de agua caliente piscina}$$

$$T_o = 24.7 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Temperatura inicial del agua}$$

Calor necesario para calentar el agua

$$Q_{p1} = \frac{M_c}{HSP} * Cp_{agua} * (T_{pool} - T_o) \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right)$$

$$Q_{p1} = 4.541 \times 10^4 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right) \quad \text{Calor necesario}$$

$$1 \text{ KW} = 860 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right)$$

$$Q_{p2} = \frac{Q_{p1}}{860} \quad \text{Calor necesario}$$

$$Q_{p2} = 52.801 \text{ (KWt)} \quad \text{Calor necesario para calentar el agua}$$

FACTOR DE REMOCIÓN DEL CALOR

Es un indicador de la cantidad de calor que se lleva el agua al salir del colector

$$h_c = 1.64 \text{ (m)}$$

Altura del colector

$$D_c = 6 \text{ (m)}$$

Diámetro mayor del colector

$$D_c = 6 \text{ (m)}$$

Diámetro mayor del colector

$$d_c = 2.1 \text{ (m)}$$

Diámetro menor del colector

$$g_c = \sqrt{\left(\frac{D_c - d_c}{2}\right)^2 + h_c^2} \text{ (m)}$$

Diagonal del colector

$$g_c = 2.548 \text{ (m)}$$

Diagonal del colector

$$A_c = \frac{\pi}{2} * g_c * (D_c + d_c) \text{ (m}^2\text{)}$$

Área del colector

$$A_c = 32.419 \text{ (m}^2\text{)}$$

Área del colector

$$\tau = 0.9$$

Transmitancia cubierta del PET

$$\alpha = 0.9$$

Absortancia del tubo de polietileno

$$\tau = 0.9$$

Transmitancia del PET

$$k = 0.9$$

Factor de sombra y suciedad

Coeficiente global de transferencia de calor valor de 10 para colectores nacionales

$$U_L = 10 \left(\frac{W}{m^2 * ^\circ C}\right)$$

$$I_g = 616.9 \left(\frac{W}{m^2}\right)$$

Irradiancia global

El Factor de remoción del calor ≤ 1

$$F_r = \frac{Q_{p2}}{4 * A_c * [I_g * \tau * \alpha * k - U_L (T_{pool} - T_o)]}$$

$$F_r = 0.987$$

Factor de remoción

PERDIDAS DE CALOR EN LA PISCINA

CALOR PERDIDO POR EVAPORACIÓN

$$P_o = 101325 \text{ (Pa)}$$

Presión atmosférica local

$$z = 1950 \text{ (m)}$$

Altura de Pimán

$$\alpha_{atm} = 1.19 \times 10^{-5} \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

Constante

$$P_{atm} = P_o * e^{-\alpha_{atm} * z}$$

Variación de la presión con la altura

$$P_{atm} = 99. \times 10^4 \text{ (Pa)}$$

Presión atmosférica en Pascales

$$P_{atm1} = \frac{P_{atm}}{1000}$$

Presión atmosférica en KPa

$$P_{atm1} = 99.001 \text{ (KPa)}$$

Presión atmosférica en KPa

$$V_w = 1.2 \left(\frac{m}{s}\right)$$

Velocidad promedio del viento

$$T_{amb} = 22.94 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Temperatura promedio ambiental

$$W_p = 0.34$$

Relación de humedad saturación de la piscina

$$W_p = 0.34$$

Humedad relativa promedio

Calor perdido por evaporación

$$Q_e = P_{atm1} * \left[35 * V_w + 43 * (T_{pool} - T_{amb})^{\frac{1}{3}} \right] * (W_p - W_{amb})$$

$$Q_e = 326.317 \left(\frac{W}{m^2}\right)$$

Calor perdido por evaporación

$$A_{s_{pool}} = 98.885 \text{ (m}^2\text{)} \quad \text{Área de la superficie de la piscina}$$

$$Q_{pe} = Q_e * A_{s_{pool}} \text{ (W)} \quad \text{Calor perdido por evaporación}$$

$$Q_{pe} = 3.227 * 10^4 \text{ (W)} \quad \text{Calor perdido por evaporación}$$

$$Q_{pe1} = \frac{Q_{pe}}{1000} \text{ (KW)} \quad \text{Calor perdido por evaporación}$$

$$Q_{pe1} = 32.268 \text{ (KW)} \quad \text{Calor perdido por evaporación}$$

CALOR PERDIDO POR CONVECCIÓN

$$Q_c = Q_e * 0.0006 * \left(\frac{T_{pool} - T_{amb}}{W_p - W_{amb}} \right) \quad \text{Calor perdido por convección}$$

$$Q_c = 38.179 \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad \text{Calor perdido por convección}$$

$$Q_{pc} = Q_c * \frac{A_{s_{pool}}}{1000} \text{ (KW)} \quad \text{Calor perdido por convección}$$

$$Q_{pc} = 3.775 \text{ (KW)} \quad \text{Calor perdido por convección}$$

CALOR PERDIDO POR CONDUCCIÓN

$$A_{l_{pool}} = 68.597 \text{ (m}^2\text{)} \quad \text{Área lateral de la piscina}$$

$$U = 10 \left(\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right) \quad \text{Coeficiente global de transferencia de calor}$$

$$Q_{pd} = U * A_{l_{pool}} * \left(\frac{T_{pool} - T_{amb}}{1000} \right) \text{ (KW)} \quad \text{Calor perdido por conducción}$$

$$Q_{pd} = 3.745 \text{ (KW)} \quad \text{Calor perdido por conducción}$$

CALOR PERDIDO POR RADIACIÓN

$$\varepsilon_1 = 0.95$$

Reflectividad del agua

$$\sigma = 5.67 * 10^{-8} \left(\frac{W}{m^2 * ^\circ K} \right)$$

Constante de Stephan-Boltzmann

$$T_{pool1} = T_{pool} + 273 \text{ (}^\circ K\text{)}$$

Temperatura de la piscina

$$T_{pool1} = 301.4 \text{ (}^\circ K\text{)}$$

Temperatura de la piscina

$$T_{amb1} = T_{amb} + 273 \text{ (}^\circ K\text{)}$$

Temperatura ambiente

$$T_{amb1} = 295.94 \text{ (}^\circ K\text{)}$$

Temperatura ambiente

$$T_m = \frac{T_{pool1} + T_{amb1}}{2} \text{ (}^\circ K\text{)}$$

Temperatura promedio

$$T_m = 298.67 \text{ (}^\circ K\text{)}$$

Temperatura promedio

Coeficiente de transferencia de calor por radiación

$$h_{r1} = 4 * \varepsilon_1 * \sigma * T_m^3 \left(\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right)$$

$$h_{r1} = 5.74 \left(\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right)$$

$$Q_{pr} = h_{r1} * A_{s_{pool}} * \left(\frac{T_{pool} - T_{amb}}{1000} \right) \text{ (W)}$$

Calor perdido por radiación

$$Q_{pr} = 3.009 \text{ (KW)}$$

Calor perdido por radiación

Calor total de pérdidas de la piscina

$$Q_{pt} = Q_{pe1} + Q_{pc} + Q_{pd} + Q_{pr} \text{ (KW)}$$

$$Q_{pt} = 32.268 + 3.775 + 3.745 + 3.009 \text{ (KW)}$$

$$Q_{pt} = 42.888 \text{ (KW)}$$

Calor total de pérdidas de la piscina

$$AT_c = 6 * A_c \text{ (m}^2\text{)}$$

Área total de colectores

$$AT_c = 194.513 \text{ (m}^2\text{)}$$

Área total de colectores

CARACTERIZACIÓN ÁREA DE COLECTORES RESPECTO AL VOLUMEN

Relación volumen calentado para el área de colectores

$$Normativa = \frac{V_t}{AT_c}$$

$$Normativa = 642.63 \left(\frac{l}{m^2 * día} \right)$$

1 m² de colector parabólico puede calentar 642 litros de agua al día.

EFICIENCIA INSTANTANEA

$\rho_c = 0.75$	Reflectividad de la pared del colector
$\gamma = 0.95$	Factor de imperfecciones superficiales
$F_f = 0.95$	Factor de forma
$\alpha = 0.9$	Absortancia del polietileno
$\tau = 0.9$	Transmitancia del PET
$k = 0.9$	Factor de sombra y suciedad
$\eta_c = \rho_c * \tau * \alpha * k * \gamma * F_f$	Eficiencia instantánea
$\eta_c = 0.75 * 0.9 * 0.9 * 0.9 * 0.95 * 0.95$	Eficiencia instantánea
$\eta_c = 0.493$	Eficiencia instantánea
$I_g = 616.9 \left(\frac{W}{m^2} \right)$	Irradiancia global
$A_c = 32.419 (m^2)$	Área del colector
$Q_{col} = \eta_c * I_g * 6 * A_c (W)$	Calor útil de 6 colectores
$Q_{col} = \frac{\eta_c * I_g * 6 * A_c}{1000} (KW)$	Calor útil de 6 colectores

$Q_{col} = 59.211 \text{ (KW)}$	Calor útil de 6 colectores
$Q_{col1} = \eta_c * I_g * 4 * A_c \text{ (W)}$	Calor útil de 4 colectores
$Q_{col1} = \frac{\eta_c * I_g * 4 * A_c}{1000} \text{ (KW)}$	Calor útil de 4 colectores
$Q_{col1} = 39.474 \text{ (KW)}$	Calor útil de 4 colectores

CALOR APORTADO POR EL CAPTADOR

$D_b = 0.08 \text{ (m)}$	Diámetro del recipiente de PET
$H_b = 0.25 \text{ (m)}$	Longitud del recipiente de PET
$A_{bot} = D_b * H_b \text{ (m}^2\text{)}$	Área del recipiente de PET
$A_{bot} = 0.02 \text{ (m}^2\text{)}$	Área del recipiente de PET
$Q_{bot} = \eta_c * I_g * A_{bot} \text{ (W)}$	Calor ganado por el PET
$Q_{bot} = 6.008 \text{ (W)}$	Calor ganado por el PET
Calor total suministrado por el PET para una Irradiancia 616 W/m ²	
$Q_{Tbot} = Q_{bot} * 6 * N^{\circ}_{botellas} \text{ (W)}$	
$Q_{Tbot} = 36.529 \text{ (KW)}$	

A continuación se realiza un resumen de los parámetros energéticos más importantes en este proyecto como:

- Calor necesario para calentar la piscina
- Calor total de pérdidas de la piscina
- Calor útil de 6 colectores
- Relación volumen - Área

Tabla 14
Resumen parámetros energéticos

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
Calor necesario para calentar el agua de la piscina	Qp2	52.80	KWt
Factor de remoción	Fr	0.99	
Calor perdido por evaporación	Qpe1	32.27	KW
Calor perdido por convección	Qpc	3.78	KW
Calor perdido por conducción	Qpd	3.45	KW
Calor perdido por radiación	Qpr	3.01	KW
Calor total de pérdidas de la piscina	Qpt	42.50	KW
Calor útil de 6 colectores	Qcol	59.21	KWt
Calor útil de 4 colectores		39.47	KWt
Relación volumen - Área	Normativa	642.63	l/m ² *día
Eficiencia instantánea	η_c	0.493	

Tabla 15

Comparación de pérdidas de calor en la piscina

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD (KW)	(%)
Calor perdido por evaporación	Qpe1	32,27	75,92
Calor perdido por convección	Qpc	3,78	8,88
Calor perdido por conducción	Qpd	3,45	8,12
Calor perdido por radiación	Qpr	3,01	7,08
Calor total de pérdidas de la piscina	Qpt	42,50	100,00

5.4. Proyecciones futuras

Considerando el alcance de la investigación realizada en lo referente a la caracterización energética, quedan pendientes otros proyectos que tengan un enfoque de carácter científico técnico entre los cuales se puede indicar los siguientes:

- Estudio de la radiación local considerando los parámetros bioclimáticos de la zona de Pimán Alto.
- Determinación del factor de remoción del calor (FR), para este tipo de colectores, mediante la aplicación de la ecuación de Bliss Hottel.
- Analizar el comportamiento energético de la piscina y colectores variando el caudal.
- Estudiar el comportamiento óptico del PET bajo condiciones de máxima insolación y la degradación termo química de las botellas para determinar la vida útil del calentador.
- Luego de haber analizado el comportamiento energético de la piscina, se propone una nueva investigación que analice la estratificación de temperaturas en sentido longitudinal y en profundidad.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Luego de haber realizado el análisis energético con capacidad de 125 m³, implementada en Tunas y Cabras se puede indicar las siguientes conclusiones:

- Analizados los flujos térmicos de la piscina el calor perdido por evaporación, radiación, convección, conducción, es de 42.77 KWt. Sin embargo, considerando que la temperatura de calentamiento del agua es de 28.4 °C, el calor necesario es de 52.8 KWt. Además, es necesario indicar que solo se encuentran en funcionamiento 4 colectores que dan un aporte energético de 40 KWt. Esta reducción se debe a que los otros 2 restantes se han proyectado abastecer como agua caliente sanitaria a la hostería.
- En el dimensionamiento inicial de la piscina se ha considerado un aporte energético de 60 KWt de los 6 calentadores. En el análisis térmico del recipiente de PET, para una irradiancia de 1000 W/m², da una potencia de 9 Wt, y en los ensayos para una irradiancia de 616.9 W/m², resulto 6 Wt, con esto se puede indicar que la capacidad de captación energética del PET y el consecuente incremento de la temperatura de la región anular, dependen de la irradiancia.
- La eficiencia instantánea teórica del calentador es de 0.493, mientras que la eficiencia real del sistema es de 0.47.
- Durante el proceso de enfriamiento de la piscina se pierde de 2 a 3 °C al utilizar manta térmica. Cuando no se hace uso de este aislante la disminución de la temperatura de agua de la piscina es de 6 °C.

- Cuando la piscina no tiene manta térmica y su proceso de calentamiento se realiza de forma natural la temperatura que se consigue es de 22 °C, valor muy alejado del valor mínimo que indica el CTE, que es de 28 °C.
- El sector donde se encuentra la piscina tiene una temperatura promedio ambiental de 27 °C, con máximo y mínimo de 28 °C y 26 °C. Estas condiciones permiten realizar procesos de calentamiento del agua, donde la pérdida por convección hacia el ambiente es bastante reducida al compararlo con la pérdida de evaporación que representa un 75.92 % por lo que el uso de la manta térmica es adecuado para este tipo de piscinas que no disponen de cubierta.
- Uno de los parámetros más importantes establecidos en este proyecto es la relación existente entre el área de colectores y el volumen de la piscina por lo que 1 m² de colector puede calentar 642 litros por día.

6.2. RECOMENDACIONES

En esta parte se propone el desarrollo de varios proyectos de investigación entre los cuales se indican los siguientes:

- Estudios respecto a la estratificación de las temperaturas de la piscina en sentido longitudinal y vertical debido a que por el efecto termosifón, los fluidos calientes tienden a colocarse en la parte superior de la superficie libre del líquido.
- Realizar un sistema de control electrónico que no considere las temperaturas de entrada y salida de colectores, sino, la radiación solar mediante la implementación de sistemas fotovoltaicos.
- Determinar la cantidad de calor que se puede extraer del captador mediante variaciones de flujo.
- Analizar el comportamiento óptico y el grado de envejecimiento de los materiales utilizados en la implementación de los colectores parabólicos en Tunas y Cabras.

BIBLIOGRAFIA

1. Abella M. (2001). Sistemas Fotovoltaicos. Madrid: Publicaciones Técnicas, Primera Edición.
2. Aranda A. (2009). Análisis de la Viabilidad Económico-financiero de un Proyecto de Energías Renovables. España: Prensas Universitarias de Zaragoza, Primera Edición.
3. Bayod Á. (2009). Energías Renovables Sistemas Fotovoltaicos. Madrid: Prensas Universitarias de Zaragoza.
4. Castañer L. (2002). Modelling Photovoltaics Systems. Barcelona: John Wiley & Sons, Ltd, Primera Edición.
5. CTE. (s.f.). <http://www.codigotecnico.org/>. Obtenido de <http://www.codigotecnico.org/>
6. Cunio L.N., C. (2012). Performance characterisation and energy savings of uncovered swimming pool solar collectors under reduced flow rate conditions. Solar Energy, 1511–1517.
7. Curtis Harrington, C. (2013). Swimming pools as heat sinks for air conditioners: California feasibility analysis. Energy and Buildings, 252 - 264.
8. Czarnecki J. T., C. (1963). A Method of Heating Swimming Pools by Solar Energy. Solar Energy, 3 - 7.
9. De Juana J. (2003). Energías Renovables para el desarrollo. Madrid: Thomson Editores Spain Paraninfo S.A., Primera Edición.
10. Dorantes Rubén D. (2014). Thermal and Hydraulic Design of a Solar Collector Field for a Primary School Pool. Energy Procedia, 2515–2524.

11. Douglass E. Root Jr. (1959). Engineering Approach to Swimming Pool Heating. Solar Energy, 60-64.
12. Duffie, J., & Beckman, W. (2013). Solar Energy. Wisconsin: Gear Team.
13. Egido G. (1999). Energía Solar y Fotovoltaica y Cooperación al Desarrollo. Madrid: IEPALA Editorial, Primera Edición.
14. Enock T Santos. (2013). Hybrid thermal model for swimming pools based on artificial neural networks for southeast region of Brazil. Expert Systems with Applications, 3106–3120.
15. Fernández J. (2008). Guía Completa de la Energía Solar Fotovoltaica y Termoeléctrica. Madrid: A. Madrid Vicente Ediciones, Primera Edición.
16. Fernández J. (2010). Compendio De Energía Solar: Fotovoltaica, Térmica y Termoeléctrica. Madrid: AMV Ediciones, Segunda Edición.
17. González J. (2009). Energías Renovables. Madrid: Editorial Reverté, S.A., Primera Edición.
18. <http://maps.google.com>. (s.f.).
19. <http://www.heliocol.com.mx>. (s.f.).
20. <http://maps.google.com>. (s.f.).
21. <https://www.google.com.ec/search?q=Calentadores+el%C3%A9ctricos>. (s.f.).
22. <https://www.google.com.ec/search?q=calentamiento+de+piscina>. (s.f.).
23. Jutglar L. (2004). Energía Solar,. España: Ediciones Ceac, Primera Edición.

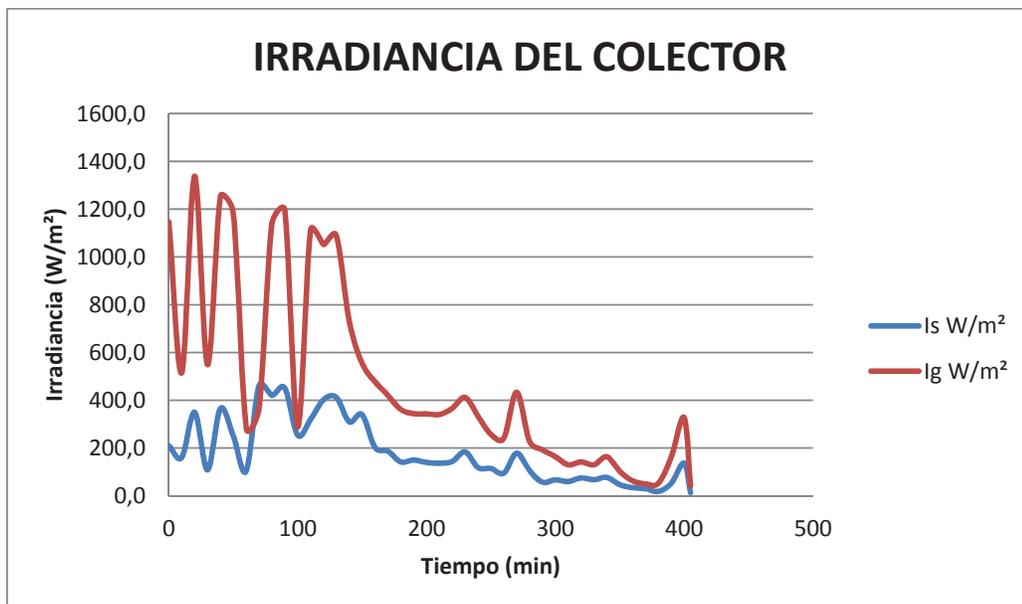
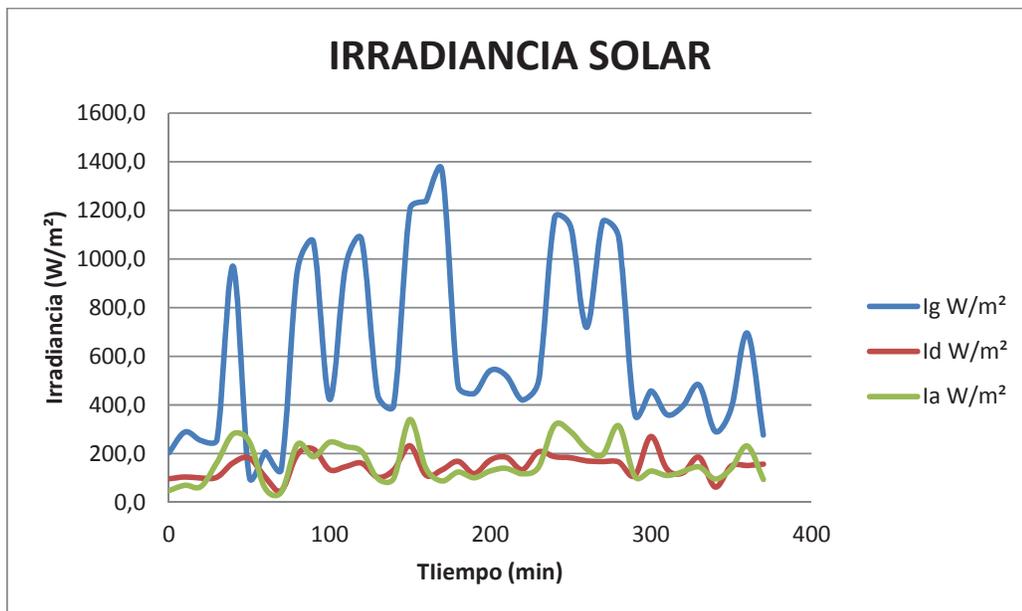
24. Labouret A. (2008). *Energía Solar Fotovoltaica Manual Práctico*. Madrid: AMV Ediciones Mundi Prensa, Primera Edición.
25. Madrid A. (2009). *Curso de Energía Solar*. Madrid: AMV Ediciones Mundi Prensa, Primera Edición.
26. Markvart T. (2003). *Solar Electricity*. New York: John Wiley & Sons, Ltd, Second Edition.
27. Partain L. (1995). *Solar Cells and Their Applications*. New York: John Wiley & Sons, Inc, Primera Edición.
28. Santos, E. T., & Zárata, L. E. (2013). Hybrid thermal model for swimming pools based on artificial neural networks for southeast region of Brazil. *Expert Systems with Applications*, 3106–3120.
29. Wilson J. (1982). *La Energía Solar*. Madrid: Alhambra, S.A., Primera Edición.
30. Winter, F. d. (1994). Twenty-year progress report on the Copper Development Association do-it-yourself solar swimming pool heating manual and on the associated prototype heater. *Solar Energy*, 33–36.
31. Zweibel K. (1990). *Solar Power, The Photovoltaics Challenge*. New York: Editorial Plenum Publishing Corporation, Primera Edición.

ANEXOS

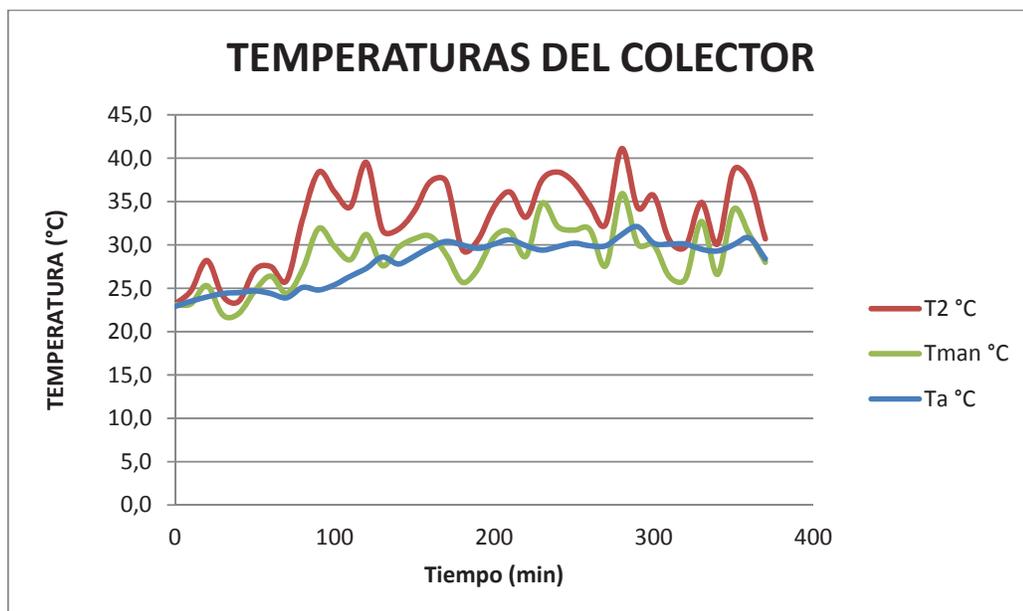
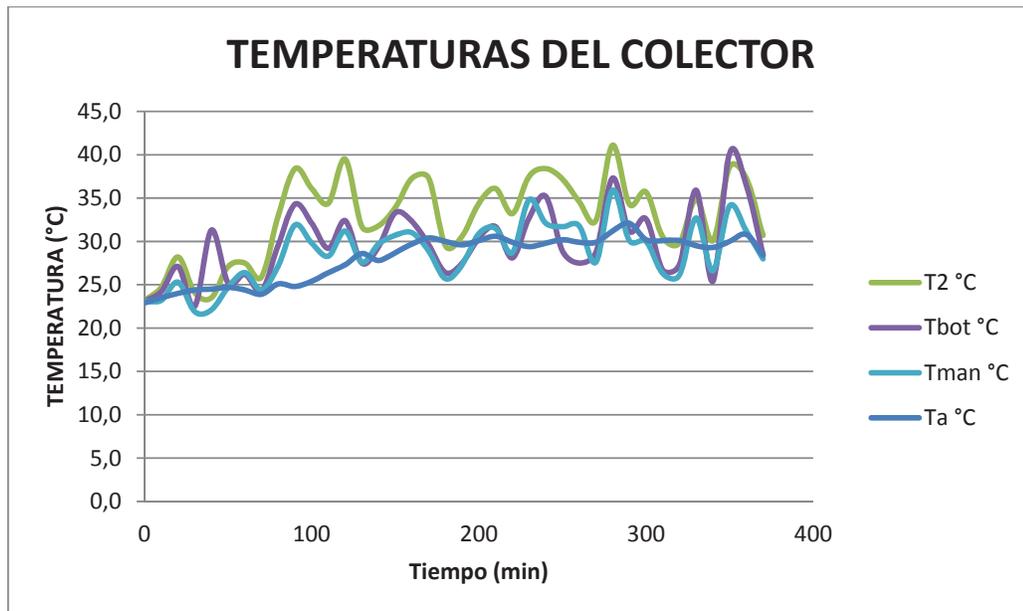
**“ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE COLECTORES
EN ESPIRAL PARA EL CALENTAMIENTO DE UNA PISCINA
DE 125 m³ AISLADA CON MANTA TÉRMICA”**

ANEXO 1: CURVAS DE PARÁMETROS DE COLECTOR Y PISCINA

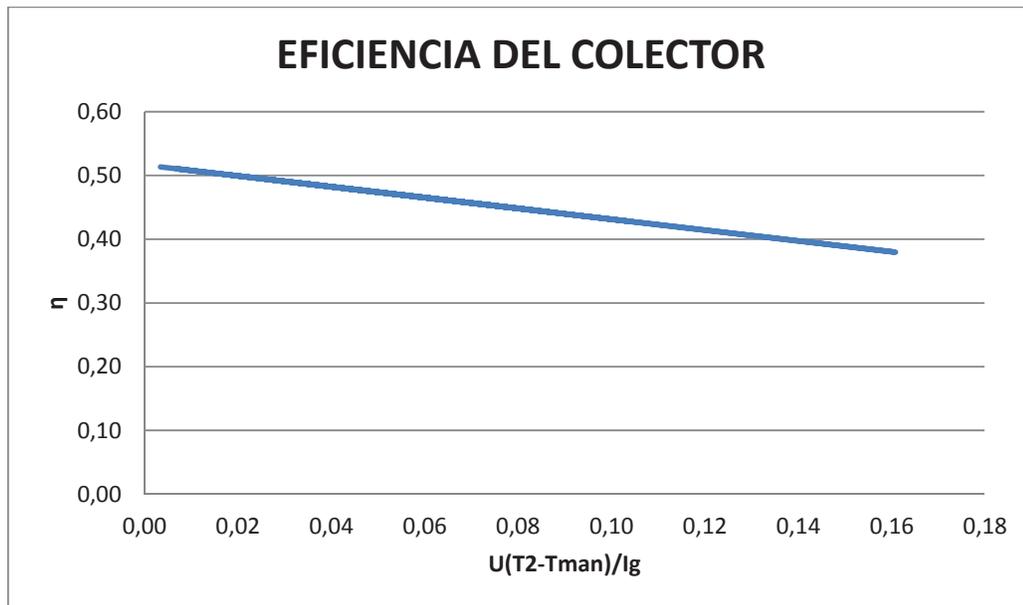
ENSAYO 5 (COLECTOR)



En los dos gráficos se puede observar un pico máximo de la irradiancia global de 1364 (W/m^2), un mínimo de 104.5 (W/m^2) y un promedio de 616.9 (W/m^2).

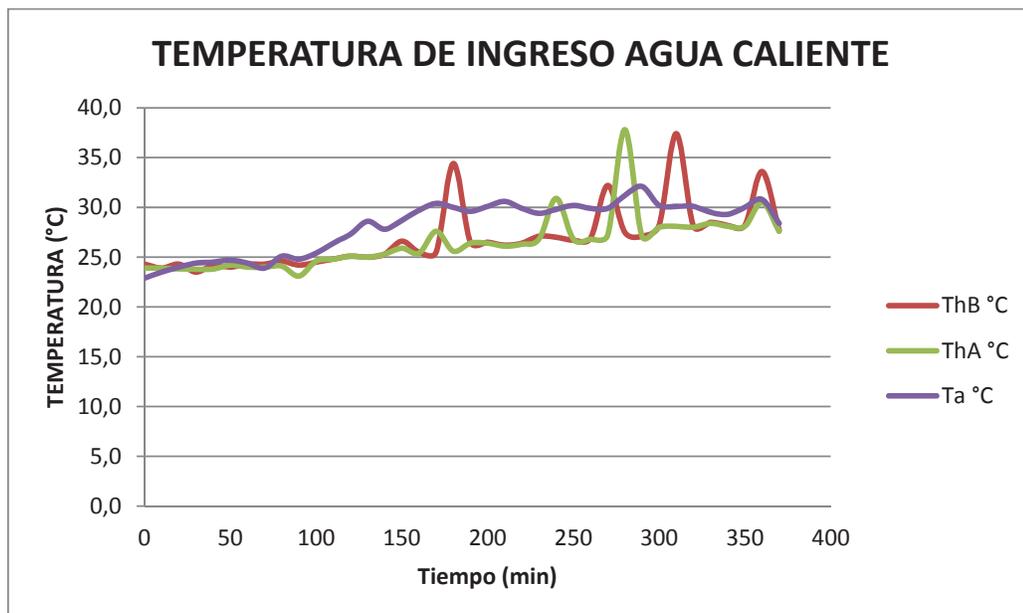


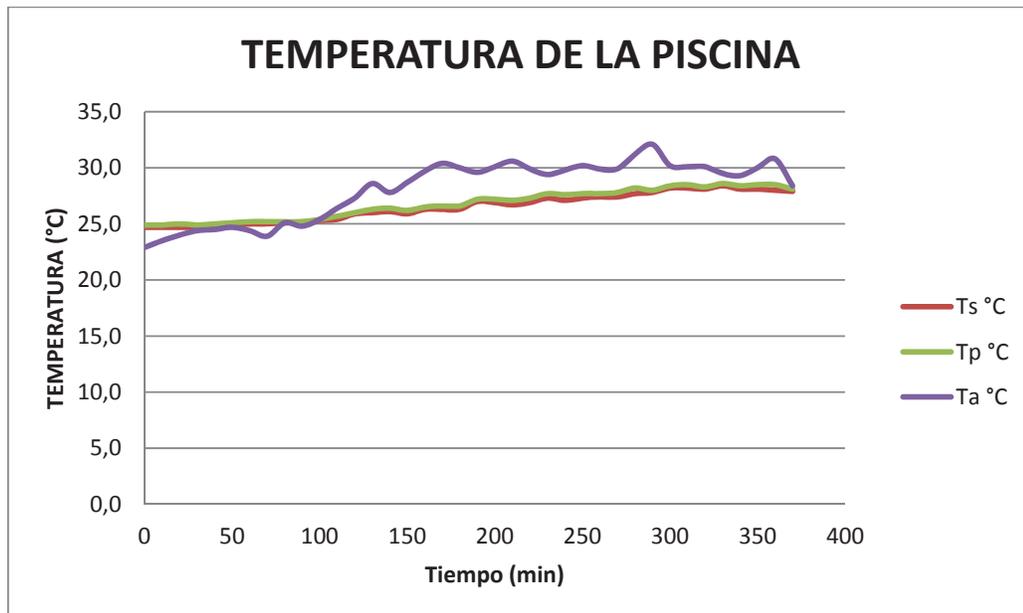
La variación de temperaturas de la manguera y de T2 tiene un comportamiento estable con valores máximos de 35.9 °C y 41.1 °C.



Aquí se puede observar que la curva de eficiencia del colector tiene pendiente negativa. La eficiencia energética del colector, en valor máximo es de η máx: 0.51, mínimo η min: 0.38 y promedio η prom: 0.47.

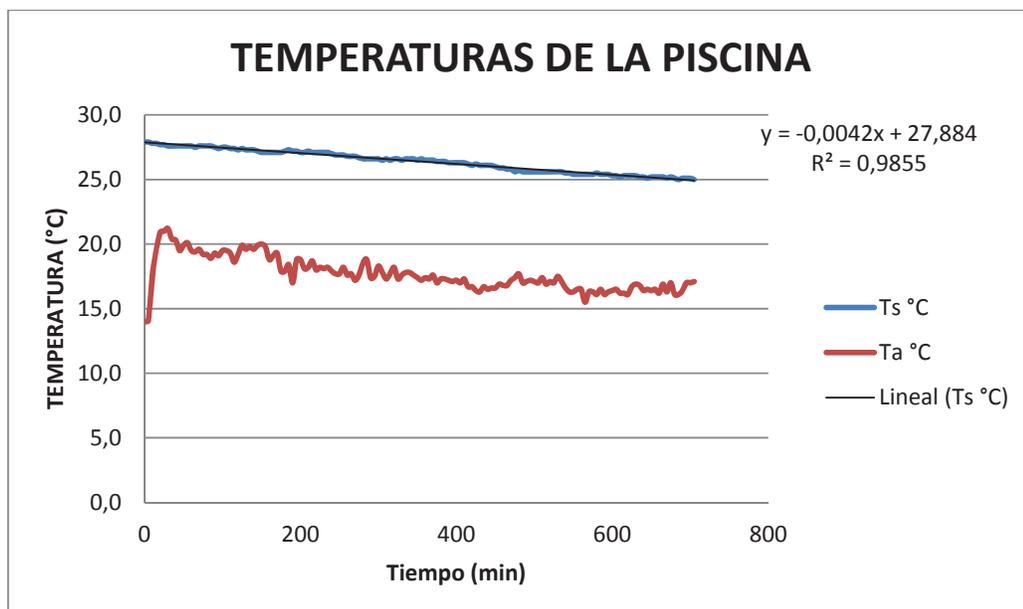
ENSAYO 5 (PISCINA)





La temperatura mínima de la piscina es 24,7 °C y la máxima de 28,4 °C.

ANÁLISIS DE ENFRIAMIENTO DE LA PISCINA



Instrumento utilizado para medir los parámetros energéticos: Medidor de temperatura PCE-T 1200.

Parámetros energéticos de enfriamiento de la piscina y del ambiente, Ensayo 6

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	PISCINA	
			Ts °C	Ta °C
1	18:58	0	27.9	14,0
2	19:03	5	27.9	14.1
3	19:08	10	27.8	17.6
4	19:13	15	27.8	19.5
5	19:18	20	27.7	20.9
6	19:23	25	27.7	21,0
7	19:28	30	27.6	21.2
8	19:33	35	27.6	20.4
9	19:38	40	27.6	20.3
10	19:43	45	27.6	19.5
11	19:48	50	27.6	19.9
12	19:53	55	27.6	20.1
13	19:58	60	27.6	19.5
14	20:03	65	27.5	19.4
15	20:08	70	27.6	19.6
16	20:13	75	27.6	19.2
17	20:18	80	27.6	19.2
18	20:23	85	27.6	18.9
19	20:28	90	27.5	19.3
20	20:33	95	27.4	19.1
21	20:38	100	27.5	19.5
22	20:43	105	27.5	19.5
23	20:48	110	27.4	19.3
24	20:53	115	27.4	18.6
25	20:58	120	27.3	19.2
26	21:03	125	27.4	19.9
27	21:08	130	27.3	19.6
28	21:13	135	27.3	19.8
29	21:18	140	27.3	19.6
30	21:23	145	27.2	19.9
31	21:28	150	27.1	20,0
32	21:33	155	27.1	19.8
33	21:38	160	27.1	18.8
34	21:43	165	27.1	19.1
35	21:48	170	27.1	19.3

CONTINÚA 

Parámetros energéticos de enfriamiento de la piscina y del ambiente, Ensayo 6

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	PISCINA	
			Ts °C	Ta °C
36	21:53	175	27.1	17.9
37	21:58	180	27.2	17.9
38	22:03	185	27.3	18.4
39	22:08	190	27.2	17,0
40	22:13	195	27.2	18.8
41	22:18	200	27.1	18.8
42	22:23	205	27.1	18.1
43	22:28	210	27.2	18.2
44	22:33	215	27.1	18.7
45	22:38	220	27.1	18,0
46	22:43	225	27.1	18.2
47	22:48	230	27.1	18.1
48	22:53	235	27.1	18.2
49	22:58	240	27,0	17.9
50	23:03	245	26.9	17.7
51	23:08	250	26.9	17.7
52	23:13	255	26.9	18.2
53	23:18	260	26.8	17.6
54	23:23	265	26.8	17.7
55	23:28	270	26.8	17.2
56	23:33	275	26.7	17.6
57	23:38	280	26.6	18.5
58	23:43	285	26.6	18.8
59	23:48	290	26.6	17.4
60	23:53	295	26.6	17.5
61	23:58	300	26.6	18.3
62	0:03	305	26.5	17.8
63	0:08	310	26.6	17.3
64	0:13	315	26.5	17.7
65	0:18	320	26.6	18.2
66	0:23	325	26.6	17.3
67	0:28	330	26.5	17.6
68	0:33	335	26.6	17.8
69	0:38	340	26.6	17.8
70	0:43	345	26.6	17.6

CONTINÚA 

Parámetros energéticos de enfriamiento de la piscina y del ambiente, Ensayo 6

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	PISCINA	
			Ts °C	Ta °C
71	0:48	350	26.5	17.4
72	0:53	355	26.6	17.2
73	0:58	360	26.5	17.4
74	1:03	365	26.5	17.3
75	1:08	370	26.5	17.6
76	1:13	375	26.4	17,0
77	1:18	380	26.4	17.3
78	1:23	385	26.4	17.3
79	1:28	390	26.3	17.2
80	1:33	395	26.3	17.1
81	1:38	400	26.3	17.2
82	1:43	405	26.3	17,0
83	1:48	410	26.3	17.3
84	1:53	415	26.2	16.7
85	1:58	420	26.1	16.7
86	2:03	425	26.2	16.4
87	2:08	430	26.1	16.3
88	2:13	435	26.1	16.7
89	2:18	440	26.1	16.5
90	2:23	445	26.1	16.6
91	2:28	450	26,0	16.6
92	2:33	455	25.9	16.9
93	2:38	460	25.9	16.8
94	2:43	465	25.8	16.8
95	2:48	470	25.8	17.2
96	2:53	475	25.6	17.4
97	2:58	480	25.7	17.7
98	3:03	485	25.6	17,0
99	3:08	490	25.6	17.1
100	3:13	495	25.6	17.2
101	3:18	500	25.6	17.1
102	3:23	505	25.6	17,0
103	3:28	510	25.6	17.4
104	3:33	515	25.6	16.9
105	3:38	520	25.6	17.1
106	3:43	525	25.6	17,0
107	3:48	530	25.6	17.5

CONTINÚA 

Parámetros energéticos de enfriamiento de la piscina y del ambiente, Ensayo 6

Orden No	Hora hh:mm	Tiempo min	PISCINA	
			Ts °C	Ta °C
108	3:53	535	25.6	17.1
109	3:58	540	25.5	16.6
110	4:03	545	25.5	16.3
111	4:08	550	25.4	16.3
112	4:13	555	25.4	16.5
113	4:18	560	25.4	16.5
114	4:23	565	25.4	15.5
115	4:28	570	25.4	16.3
116	4:33	575	25.4	16.3
117	4:38	580	25.5	16.1
118	4:43	585	25.4	16.5
119	4:48	590	25.4	16.1
120	4:53	595	25.4	16.3
121	4:58	600	25.3	16.4
122	5:03	605	25.3	16.5
123	5:08	610	25.2	16.2
124	5:13	615	25.3	16.2
125	5:18	620	25.3	16.1
126	5:23	625	25.3	16.7
127	5:28	630	25.3	16.9
128	5:33	635	25.2	16.8
129	5:38	640	25.2	16.4
130	5:43	645	25.1	16.5
131	5:48	650	25.2	16.4
132	5:53	655	25.2	16.5
133	5:58	660	25.2	16.2
134	6:03	665	25.2	16.9
135	6:08	670	25.1	16.3
136	6:13	675	25.2	17,0
137	6:18	680	25.1	16.1
138	6:23	685	25,0	16.1
139	6:28	690	25.1	16.4
140	6:33	695	25.1	17,0
141	6:38	700	25.1	17,0
142	6:43	705	25,0	17.1
PROMEDIO			25,8	17,4
MÁXIMO			27,0	21,0
MÍNIMO			25,0	14,0

ANEXO 2: DATOS RADIACIÓN DE LA NASA PARA TUNAS Y CABRAS

Ecuador, Imbabura		
Altitud	Latitud	Longitud
1950 metros	0.426336 N	-78.054892°

MES	Ta	HR	Ho	Pa	Vw	Tsuelo
	°C	%	kWh/m ² día	kPa	m/s	°C
Enero	19,90	0,80	3,96	87,70	1,80	21,80
Febrero	20,30	0,79	4,09	87,70	1,50	22,10
Marzo	20,60	0,78	4,35	87,70	1,50	22,70
Abril	21,00	0,75	4,17	87,70	1,60	23,30
Mayo	21,20	0,68	3,91	87,70	1,80	23,90
Junio	21,10	0,62	3,80	87,80	2,10	23,80
Julio	21,20	0,54	4,03	87,80	2,30	24,20
Agosto	21,90	0,51	4,05	87,80	2,40	25,80
Septiembre	22,00	0,57	3,88	87,80	2,30	26,30
Octubre	21,30	0,67	3,86	87,70	2,20	25,30
Noviembre	20,40	0,75	3,74	87,70	2,10	23,40
Diciembre	19,90	0,81	3,69	87,70	2,10	22,00
PROMEDIO	20,90	0,69	3,96	87,73	1,98	23,72

Fuente: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETSscreen/>

ANEXO 3: RECURSO SOLAR

Mes	ARMSTRONG PAGE	NASA	ISOCAD	DIFERENCIA PAGE - NASA	DIFERENCIA PAGE - ISOCAD
	[Wh/m ² día]	[Wh/m ² día]	[Wh/m ² día]	[Wh/m ² día]	
Enero	4310	3960	4500	350	-190
Febrero	4459	4090	4390	369	69
Marzo	4516	4350	4280	166	236
Abril	4394	4170	4280	224	114
Mayo	4165	3910	4470	255	-305
Junio	4018	3800	4280	218	-262
Julio	4071	4030	4830	41	-759
Agosto	4273	4050	4940	223	-667
Septiembre	4443	3880	4580	563	-137
Octubre	4447	3860	4670	587	-223
Noviembre	4325	3740	4440	585	-115
Diciembre	4243	3690	4420	553	-177
Promedio	4305	3961	4507	345	-201

ANEXO 4: LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL SITIO DEL EXPERIMENTO

La hostería Tunas y Cabras está ubicada en la provincia de Imbabura en la antigua vía Ibarra – Chota - Tulcán rodeado de 7000 hectáreas desérticas a una altura de 1.950 metros sobre el nivel del mar.

Las actividades principales de la hostería son, Agroturismo, Ecoturismo, Turismo educativo, turismo comunitario, observación de aves y plantas.

Para llegar a la hostería donde está instalado el colector parabólico se debe tomar la siguiente ruta desde Quito,

- Tomar la salida norte de la E35 hacia Ibarra
- Ir hacia Yahuarcocha, Aduana y Priorato
- Tomar el camino empedrado hacia Aloburo
- Pasar la hacienda Pimán
- Continuar 6 Km para llegar a Tunas y Cabras
-

A continuación se indica las el mapa con las coordenadas geográficas de la Tunas y Cabras.

Ecuador, Imbabura		
Altitud	Latitud	Longitud
1950 metros	0.426336 N	-78.054892°

Fuente: (<http://maps.google.com>)



Fuente: (<http://maps.google.com>)

ANEXO 5: MEDICIONES

Radiación de pared del colector



Radiación global



Temperatura de sensor de salida



Radiación de Albedo



Radiación difusa



Temperatura de salida de agua



Colectores parabólicos en espiral



Temperatura de botella PET



Temperatura de manguera



Temperatura de ingreso



ANEXO 6: MEDICIÓN HORAS DE SOL

