

**COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS DE TRES SISTEMAS DE CALENTAMIENTO  
DE AGUA SOLAR**

**DIEGO F. ARIAS LÓPEZ  
ELIAS D. VILLADIEGO P**

**Trabajo de Grado**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA  
BUCARAMANGA  
2015**

**COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS DE TRES SISTEMAS DE CALENTAMIENTO  
DE AGUA SOLAR**

**DIEGO F. ARIAS LÓPEZ  
ELIAS D. VILLADIEGO P**

**Trabajo de Grado para optar el título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**Director:  
Emil Hernández Arroyo**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA  
BUCARAMANGA  
2015**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bucaramanga, Marzo 16 2015

## DEDICATORIA

Quiero dedicarle este trabajo primordialmente a Dios, ser perfecto que hace posible todo, quien me ha regalado su sabiduría para saber qué hacer, fortaleza y constancia para lograrlo.

A mis padres de manera especial por creer en mí, amarme, ayudarme pero sobre todo formarme con buenos sentimientos, hábitos y excelentes valores, lo cual me ha servido para salir adelante en los momentos más difíciles, por sus consejos y total comprensión en este proceso.

A mis hermanos por su apoyo incondicional, por motivarme y acompañarme a alcanzar mis metas.

A mi novia por estar a mi lado sin importar las circunstancias, por su amor, paciencia y comprensión, por darme fuerzas y ánimos para seguir adelante.

(Villadiego, Elías)

## **DEDICATORIA**

Siendo este un momento muy significativo en mi vida quiero dedicarle este trabajo a Dios y agradecerle por permitirme estar cumpliendo este propósito y por haber puesto en mi vida, y a lo largo de este camino de aprendizaje a personas que fueron fundamentales para que esto que estoy viviendo sea una muy esperada y trabajada realidad.

A mis padres les debo el impulso permanente para construir mi propio futuro, les debo mis valores y el deseo de aportar a la sociedad.

Para mis hermanitos, quiero que vean en mí un ejemplo de cómo se pueden cumplir los sueños con esfuerzo y dedicación.

(Arias, Diego)

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos ante todo a la Universidad Pontificia Bolivariana por su apoyo y colaboración incondicional en la asistencia económica del presente proyecto, le debemos los espacios para precisamente desarrollar el potencial que descubrimos que teníamos y que como fruto está dándonos la oportunidad de obtener el título que estamos logrando.

A mis profesores que de ninguna forma se quedan atrás les estoy muy agradecido, sus conocimientos con sus buenos métodos lograron ser transmitidos y es eso lo que me tiene justo en este momento de mi vida. Gracias por la paciencia a la hora de realizar cada actividad y a la hora de enseñar pero sobre todo gracias porque son para mí ustedes ejemplo de crecimiento e interés por ser profesionales excelentes, especialmente al Ingeniero Emil Hernández Arroyo, Director de la Facultad de Ingeniería Mecánica, por su confianza, colaboración y apoyo en el proceso de realización de este proyecto y al técnico Ludwing Casas Mena quien nos transmitió todos los conocimientos en la construcción del proyecto y disposición en el desarrollo de sí mismo.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	17
2. OBJETIVOS	19
2.1. Objetivo general	19
2.2. Objetivos específicos	19
3. MARCO TEORICO	21
3.1. Colectores de placa plana	23
3.1.1. Colectores de placa plana con cubierta	23
3.1.2. Colectores de placa plana sin cubierta	24
3.2. Colectores de tubos al vacío	26
3.2.1. Tubos evacuados simples	28
3.2.2. Tubos de vacío de flujo directo	29
3.2.3. Tubos de vacío de heat pipe	30
4. METODOLOGIA	34
4.1. Construcción serpentín en acero inoxidable	35
4.2. Cálculos y resultados	36
4.3. Resultados	43
4.3.1 Pruebas colector con serpentín de acero inoxidable	46
4.3.2. Pruebas con colector de serpentín de cobre	50
4.3.3. Pruebas de colectores de placa plana en paralelo	53
4.3.4. Pruebas colector de tubos al vacío	55
4.3.5. Pruebas cambiando el ángulo de orientación	64
5. Conclusiones	71
6. Recomendaciones	73
A. ANEXO: TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS	74
A1. Tabla de datos colector con serpentín de acero inoxidable día 1	74
A1.1. Tablas de cálculos de colector con serpentín de acero inoxidable día 1	75
A2. Tabla de datos colector con serpentín de acero inoxidable día 2	77

A2.1. Tabla de cálculos del colector con serpentín de acero inoxidable día 2	78
A3. Tabla de datos colector con serpentín de acero inoxidable día 3	80
A3.1. Tabla de cálculos del colector con serpentín de acero inoxidable día 3	81
A4. Tabla de datos colector con serpentín de cobre día 1	84
A4.1. Tabla de cálculos colector con serpentín de cobre día 1	85
A5. Tabla de datos con serpentín de cobre día 2	87
A5.1. Tabla de cálculos colector con serpentín de cobre día 2	88
A6. Tabla de datos colector con serpentín de cobre día 3	90
A6.1. Tabla de cálculos colector con serpentín de cobre día 3	91
A7. Tabla de datos colector de tubos al vacío día 1	93
A7.1. Tabla de cálculos colector de tubos al vacío día 1	95
A8. Tabla de datos colector al vacío día 2	97
A8.1. Tabla cálculos colector de tubos al vacío día 2	98
A9. Tabla de datos colector de tubos al vacío día 3	100
A9.1. Tabla de cálculos colector de tubos al vacío día 3	101
A10. Tabla de datos colector de placa plana conectados en paralelo día 1	103
A10.1. Tabla de cálculos colectores de placa plana conectados en paralelo día 1	105
A11. Tabla de datos colectores de placa plana conectados en paralelo día 2	107
A11.1. Tabla de cálculos colectores de placa plana conectados en paralelo día 2	108
A12. Tabla de datos colectores de placa plana conectados en paralelo día 3	110
A12.1. Tabla de cálculos colectores de placa plana conectados en paralelo día 3	111
A13. Tabla de datos colector con serpentín de acero inoxidable con rotación A 30° sureste	114
A13.1. Tabla de cálculos colector con serpentín de acero inoxidable Con rotación a 30° sureste	114
A14. Tabla de datos colector con serpentín de cobre con rotación a 30° sureste	116



A14.1. Tabla de cálculos colector con serpentín de cobre con rotación a 30° sureste	116
A15. Tabla de datos colector de tubos al vacío con rotación a 30° sureste	118
A15.1. Tabla de cálculos colector de tubos al vacío con rotación a 30° sureste	119
A16. Tabla de datos colector con serpentín de acero inoxidable con rotación a 60° sureste	121
A16.1. Tabla de cálculos colector con serpentín de acero inoxidable con rotación a 60° sureste	122
A17. Tabla de datos colector con serpentín de cobre con rotación a 60° sureste	123
A17.1. Tabla de cálculos colector con serpentín de cobre con rotación a 60° sureste	124
A18. Tabla de datos colector de tubos al vacío con rotación a 60° sureste	125
A18.1. Tabla de cálculos colector de tubos al vacío con rotación a 60° sureste	126
BIBLIOGRAFÍA	129

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Colector de placa plana	23
Figura 2. Colector de placa plana sin cubierta	25
Figura 3. Calentador de tubos al vacío	27
Figura 4. Tubo evacuado simple	28
Figura 5. Tubo de vacíos de flujo directo	30
Figura 6. Tubo de vacío heat pipe	31
Figura 7. Serpentín de acero inoxidable	36
Figura 8. Curva característica de c.p.p de tipo medio	39
Figura 9. Conexión del sistema de calentamiento	43
Figura 10. Esquema de funcionamiento de un calentador de tubos al vacío	45
Figura 11. Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable, primer día de pruebas	46
Figura 12. Curva de temperatura vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable, primer día de pruebas	47
Figura 13. Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable, segundo día de pruebas	47
Figura 14. Curva de temperatura vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable, segundo día de pruebas	48
Figura 15. Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable, tercer día de pruebas	48
Figura 16. Curva de temperatura vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable, tercer día de pruebas	49
Figura 17. Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de cobre, primer día de pruebas	50
Figura 18. Curva de temperatura vs tiempo del colector con serpentín de cobre, primer día de pruebas	50

Figura 19. Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de cobre, segundo día de pruebas	51
Figura 20. Curva de temperatura vs tiempo del colector con serpentín de cobre, segundo día de pruebas	51
Figura 21. Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de cobre, tercer día de pruebas	52
Figura 22. Curva de temperatura vs tiempo del colector con serpentín de cobre, tercer día de pruebas	52
Figura 23. Curva de eficiencia vs tiempo de los colectores de placa plana en paralelo, primer día de pruebas	53
Figura 24. Curva de eficiencia vs tiempo de los colectores de placa plana en paralelo, segundo día de pruebas	54
Figura 25. Curva de eficiencia vs tiempo de los colectores de placa plana en paralelo, tercer día de pruebas	54
Figura 26. Curva de eficiencia vs tiempo del colector de tubos al vacío, primer día de pruebas	55
Figura 27. Curva de temperatura vs tiempo del colector de tubos al vacío, primer día de pruebas	56
Figura 28. Curva de eficiencia vs tiempo del colector de tubos al vacío, segundo día de pruebas	56
Figura 29. Curva de temperatura vs tiempo del colector de tubos al vacío, segundo día de pruebas	57
Figura 30. Curva de eficiencia vs tiempo del colector de tubos al vacío, tercer día de pruebas	57
Figura 31. Curva de temperatura vs tiempo del colector de tubos al vacío, tercer día de pruebas	58
Figura 32. Comparación de las eficiencias de las diferentes conexiones, primer día	59
Figura 33. Comparación de las temperaturas de salida de las diferentes conexiones, primer día	59

Figura 34. Comparación de las eficiencias de las diferentes conexiones, segundo día	60
Figura 35. Comparación de las temperaturas de salida de las diferentes conexiones, segundo día	60
Figura 36. Comparación de las eficiencias de las diferentes conexiones, tercer día	61
Figura 37. Comparación de las temperaturas de salida de las diferentes conexiones, tercer día	61
Figura 38. Comparación de las eficiencias del colector de tubos al vacío y conexión en paralelo de los colectores de placa plana, primer día	62
Figura 39. Comparación de las eficiencias del colector de tubos al vacío y conexión en paralelo de los colectores de placa plana, segundo día	63
Figura 40. Comparación de las eficiencias del colector de tubos al vacío y conexión en paralelo de los colectores de placa plana, tercer día	63
Figura 41. Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable con rotación 30° sureste	64
Figura 42. Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de cobre con rotación 30° sureste	65
Figura 43. Curva de eficiencia vs tiempo del colector de tubos al vacío con rotación 30° sureste	65
Figura 44. Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable con rotación 60° sureste	66
Figura 45. Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de cobre con rotación 60° sureste	66
Figura 46. Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de cobre con rotación 60° sureste	67
Figura 47. Comparación de las eficiencias del colector con	

serpentín de acero inoxidable y del colector de tubos al vacío con rotación de 30° sureste	68
Figura 48. Comparación de las eficiencias del colector con serpentín de cobre y del colector de tubos al vacío con rotación de 30° sureste	68
Figura 49. Comparación de las eficiencias del colector con serpentín de acero inoxidable y del colector de tubos al vacío con rotación de 60° sureste	69
Figura 50. Comparación de las eficiencias del colector con serpentín de cobre y del colector de tubos al vacío con rotación de 60° sureste	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos necesarios para el cálculo de la eficiencia del colector con serpentín de acero inoxidable día 1.	36
Tabla 2. Resultado de los cálculos para el colector de serpentín de acero inoxidable.	42

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TÍTULO:** Comparación De Eficiencias De Tres Sistemas De Calentamiento De Agua Solar

**AUTOR(ES):** Diego F. Arias López  
Elías D. Villadiego P.

**FACULTAD:** Ingeniería Mecánica.

**DIRECTOR:** Emil Hernández A.

### RESUMEN

El propósito de este proyecto fue realizar la comparación entre tres sistemas de calentamiento de agua; dos colectores solares de placa plana y un calentador de tubos al vacío, que están ubicados en la cafetería del bloque I de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. A través de pruebas se evaluó el desempeño de cada sistema, alcanzando una eficiencia máxima de 71.58 % para el colector con serpentín de acero inoxidable, de 76.31 % para el colector con serpentín de cobre y de 72.33 % correspondiente al colector de tubos al vacío. El colector con serpentín de cobre fue el sistema que logró mayor eficiencia. Sin embargo, teniendo en cuenta las curvas de desempeño, de temperatura de cada colector y las condiciones climatológicas durante las pruebas, se determinó que el sistema de calentamiento de agua solar más eficiente fue el colector de tubos al vacío. Logrando una eficiencia máxima de 72.33 % y una temperatura máxima de 62.67°C.

**Palabras claves:** eficiencia, colector solar, placa plana, tubos al vacío.

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRAD**

**TITLE:** Comparison of Efficiencies Three heating systems  
Solar water

**AUTHOR(S):** Diego F. Arias López  
Elías D. Villadiego P.

**FACULTY:** Faculty of Mechanical Engineering

**DIRECTOR:** Emil Hernández A.

### **ABSTRACT:**

The main purpose of this Project was to elaborate a comparison between three water heating systems; Using two plane water heating solar collectors and another using a Vacuum Tube Heater, all of them are on top of the Cafetería's roof on building I of the "Universidad Pontificia Bolivariana" in Bucaramanga. Through testing we determined each type of water heating systems' performance, where the Stainless Steel tube collector reached a maximum efficiency of 71.58 %, the Copper Tubing Collector a maximum value of 76.31 % and for the Vacuum Tube Heater Collector a maximum efficiency of 72.33 %. The collector with copper coil was the system more efficient. So, taking into account the Performance and Temperature Curves, along with the weather conditions at the time of the testing we determined that the most efficient Solar Heating System is the one using a Vacuum Tube Heater Collector. Reaching a maximum efficiency of 72.33% and a maximum temperature of 62.67 °C.

Key Words: Efficiency, Solar Collector, Flat surface Panels, vacuum tubing



## 1. INTRODUCCIÓN

La sociedad en general se encuentra en un constante cambio debido a la globalización, la aceleración de la innovación y el nuevo orden económico, entre otros aspectos, cabe mencionar que dentro de esa situación de cambio, también se encuentra inmerso el cambio respecto al ambiente y los daños constantes que se encuentra en este, donde el hombre se preocupa más por el medio ambiente para así mejorar la calidad de vida y su vínculo con la naturaleza.

Desde hace tiempo se conoce la energía como “toda causa capaz de producir un trabajo, y su manifestación es precisamente la realización de su virtualidad”. En otras palabras, la energía es la encargada de realizar la producción eficiente de un trabajo o la transformación de la energía. De igual manera, la energía se produce de diferentes fuentes, las cuales son clasificados como: renovable y no renovable.

En este proyecto se tendrá en cuenta el grupo de fuentes renovables, donde hace aparición: la energía solar.

El sol es la única fuente de energía solar, “el sol produce constantemente energía electromagnética, que nos llega directamente a la Tierra. Así lo viene haciendo desde hace unos 4,5 millones de años y parece que seguirá su producción por varios años más”<sup>1</sup>.

La energía solar, puede ser usada de forma directa, lo que se conoce como ‘sistemas pasivos’ que son los que solo utilizan esta fuente de energía. Teniendo en cuenta lo anterior, cabe mencionar que los sistemas pasivos son la forma más sencilla de aprovechar la energía solar, ya que utilizan medios naturales para la calefacción o refrigeración de un local.

---

<sup>1</sup> DE JUANA, José. Energías Renovables para el Desarrollo. Thomson Paraninfo. 2003. 309p.

De igual manera, “el calor es necesario en el interior de un edificio para obtener un ambiente confortable puede suministrarse mediante energía solar utilizando sistemas que son similares a los empleados en el calentamiento del agua”<sup>1</sup>.

Debido a lo anterior, ha surgido la idea de realizar una investigación donde se hace un estudio de pruebas con tres diferentes tipos de calentadores solares de agua. Se analizarán dos colectores de placa plana con serpentín de diferente material, uno de ellos con serpentín de acero inoxidable, el otro con serpentín de cobre y un calentador de tubos al vacío. Esto con el fin de hacer una comparación de sus curvas de desempeño y con estas determinar el sistema más óptimo. Este proyecto busca sin duda encontrar el equilibrio entre medio ambiente y economía.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar y comparar tres sistemas de calentamiento de agua solar evaluando las curvas de desempeño para la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica del estado del arte de los calentadores solares que actualmente impactan en la industria.

**Resultado:** base de datos de artículos encontrados en proyectos relacionados y revistas indexadas.

**Indicador:** búsqueda artículos en la base datos reconocidas.

- Implementar un sistema de calentamiento de agua de dos colectores de placa plana con serpentín de diferente material.

**Resultado:** colectores de placa plana con serpentín en acero inoxidable y cobre.

**Indicador:** los colectores se implementarán de acuerdo a recomendaciones y normas emitidas por la empresa española Censolar.

- Evaluar y determinar el rendimiento de los tres sistemas de calentamiento de agua solar, por medio de las curvas de desempeño, con el fin de hallar el sistema más eficiente.

**Resultado:** documento con cálculos de eficiencias y curvas de e temperatura vs tiempo de cada sistema.

**Indicador:** eficiencia según Censolar.

- Comparar un arreglo en paralelo de dos colectores de placa plana con un calentador de tubos al vacío.

**Resultado:** documento con curvas de eficiencia vs tiempo del arreglo en paralelo de colectores de placa plana, comparadas con las del calentador de tubos al vacío.

**Indicador:** los resultados deben tener una tendencia aproximada a valores aceptados en la literatura científica.

### 3. MARCO TEÓRICO

La energía es la encargada de realizar la producción eficiente de un trabajo o la transformación de la energía. De igual manera, la energía proviene de diferentes fuentes, clasificadas como: renovable y no renovable.

Entre el grupo de las fuentes renovables encontramos la energía solar, que ha sido utilizada para satisfacer diferentes necesidades, una de ellas ha sido el agua caliente que se ha convertido en los hogares del mundo en un requerimiento para realizar diferentes labores domésticas, como: higiene personal limpieza, y deberes en la cocina. También existen otras necesidades relevantes como la calefacción y la refrigeración. “El calor es necesario en el interior de un edificio para obtener un ambiente confortable puede suministrarse mediante energía solar utilizando sistemas que son similares a los empleados en el calentamiento del agua”<sup>1</sup>.

El sistema energético actual se basa en el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) que son recursos agotables. A medida que transcurre el tiempo, la humanidad va creciendo y el consumo de estos recursos va aumentando, hasta que se agote lo que nuestro planeta tardó cientos de millones de años para producirlo<sup>2</sup>.

En la actualidad obtener agua caliente tiene un costo, que es generado ya sea por el consumo de gas natural o electricidad. De esta forma, se han implementado nuevas herramientas que involucran a la energía solar como fuente principal, además de que es un recurso ecológico, es una nueva alternativa que puede sustituir o trabajar junto a la electricidad para la obtención del recurso, con el fin de disminuir costos altos de consumo y contribuir con la mejora del medio ambiente.

---

<sup>2</sup> ROLDAN VILORIA, José. NECESIDADES ENERGETICAS Y PROPUESTAS DE INSTALACIONES SOLARES. Editorial Paraninfo. 2012. ISBN 8428332975.

El calentamiento solar de agua para consumo doméstico, como alternativa para sustituir los calentadores tradicionales (eléctricos, a gas, etc.), es una opción atractiva, si se toma en cuenta las bajas temperaturas necesitadas (40°C a 60°C), además, desde el punto de vista de ahorro energético es la opción más favorable, ya que en estos sistemas, la fuente de calor es la radiación solar, la cual sustituye los combustibles fósiles o la electricidad.

Existen otras tecnologías para el calentamiento solar de agua llamadas de media y de alta temperatura. La de media temperatura trabaja con sistemas colectores de espejos de concentración parabólicos o cilindro-parabólico, o de lentes, alcanzando temperaturas de hasta 600°C. Los sistemas de alta temperatura consiguen más de 1.000°C con facilidad y se basan en la concentración de radiación solar en una torre central por multitud de heliostatos situados a su alrededor. Un heliostato es un espejo al que se le ha acoplado un sistema de seguimiento de la trayectoria del sol.

Al sistema de captación que aprovecha el efecto invernadero y la radiación solar absorbida sobre una superficie plana lo llamamos colector solar térmico. El colector solar térmico consta de cuatro partes fundamentales: cubierta transparente, placa absorbente, aislamiento y carcasa<sup>3</sup>.

Existen varios tipos de captadores solares térmicos que se diferencian entre sí por la utilización de concentradores y según el uso de aislante térmico adaptándose a diferentes temperaturas de manejo. Tenemos colectores de placa plana, colectores concentradores parabólicos y colectores de tubos al vacío, para la elaboración de este proyecto nos enfocaremos en:

- Colectores de placa plana
- Colectores de tubo vacío

---

<sup>3</sup> ORTEGA RODRIGUEZ, Mario. Energías Renovables. México: Thompson, 2002. 285p.

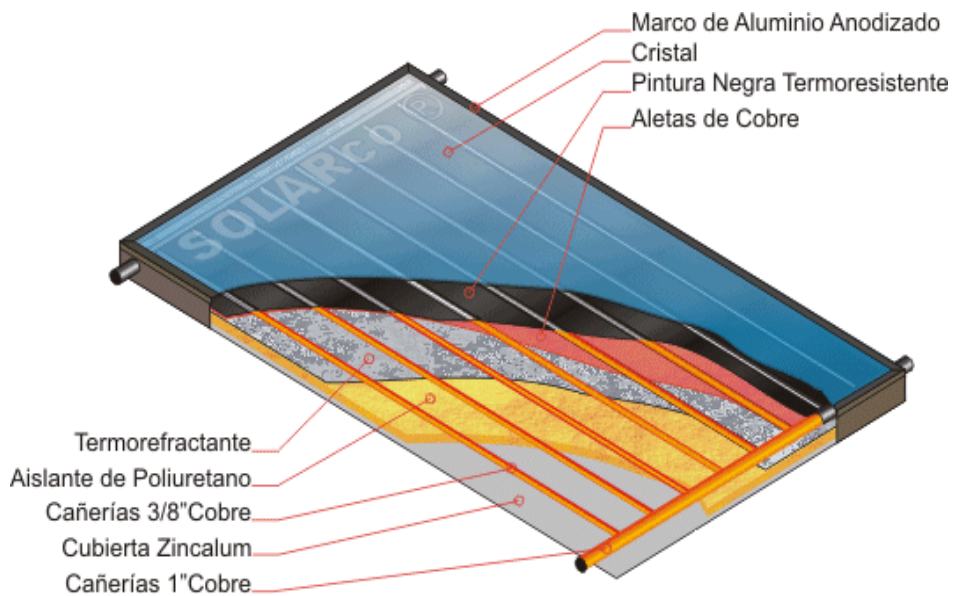
### 3.1. COLECTORES DE PLACA PLANA

También conocidos como sistemas de energía solar a bajas temperatura, son los más comunes a la hora de producir agua caliente sanitaria, siendo el sistema activo más simple<sup>4</sup>. Los colectores de placa plana pueden ser con cubierta o sin cubierta según su finalidad.

#### 3.1.1. COLECTORES DE PLACA PLANA CON CUBIERTA

Los colectores solares de placa plana son el tipo más común actualmente. Están compuestos esencialmente por una cubierta de vidrio, una placa captadora aislada térmicamente en la parte inferior y están contenidos en una caja de metal o plástico (figura 1)<sup>5</sup>.

**Figura 1.**colector solar placa plana.



<sup>4</sup> HURTADO M, Alejandro. "Colectores Solares de Placa Plana". Bogotá, Colombia: Universidad Autónoma de Colombia.

<sup>5</sup> SEENERGY. Colector solar placa plana. [Citado el 03 de marzo del 2015]. Disponible en internet: <<http://www.seenergymexico.com/energia-solar-termica.php>>

**Fuente:** SEENERGY. Colector solar placa plana.

Todos los colectores planos, que están disponibles en el mercado son de absorbedores de metal dentro de una caja rectangular plana.

“El absorbedor es una placa metálica sobre la cual están soldados los tubos por los que circula el fluido caloportador. La relación entre la energía absorbida y la energía incidente sobre un material determinado define el coeficiente de absorción del material y se denomina absorptancia ( $\alpha$ ). De igual forma podemos definir la emisividad ( $\epsilon$ ) como la relación entre la energía emitida por una superficie y la radiación emitida si fuera un cuerpo negro. Ambos coeficientes adimensionales tienen valores entre 0 y 1”<sup>6</sup>.

Los colectores planos tienen un aislante térmico en la parte inferior y en los lados “Las pérdidas posteriores son todas las que no tienen lugar a través de la cara delantera, es decir, aquellas que se producen por los lados y las ocasionadas por puentes térmicos. Para disminuirlas, existen en el mercado materiales aislantes que se usan en las caras laterales y la cara posterior de los colectores”<sup>6</sup>.

Dichos colectores tienen en la parte superior una cubierta transparente “A fin de disminuir las pérdidas por convección, el absorbedor se cubre con una cubierta traslúcida, de esta manera el aire contenido entre la cubierta y el absorbedor, se calienta como consecuencia de la radiación electromagnética atrapada entre las superficies, lo que se denomina efecto invernadero”<sup>7</sup>.

### **3.1.2. COLECTORES DE PLACA PLANA SIN CUBIERTA**

Los colectores de placa plana sin cubierta están constituidos apenas por absorbedores plásticos, son usados principalmente para el calentamiento de piscinas, normalmente son de material plástico y están directamente expuestos a la

---

<sup>6</sup> HECTH, Eugene. Óptica. Pearson. Tercera Edición. 2008. 718p.

<sup>7</sup> CENSOLAR. Curso de Proyectista Instalador de Energía Solar. Tomo 3. Cap. 3.1.3.3 España. 2008



radiación solar (figura 2)<sup>8</sup>. Se caracterizan por la falta de cobertura transparente y un aislante térmico, así como de la estructura de soporte.

**Figura 2.** Colector solar placa plana sin cubierta.



**Fuente:** DOMINI AMBIENTAL. Colector solar placa plana sin cubierta.

Este tipo de colectores, “carecen también de aislamiento perimetral. Dada la inmediatez y simplicidad de este tipo de paneles, existen multitud de subvariantes tanto en formas como en materiales: conceptualmente, una simple manguera enrollada y pintada de negro es, en esencia, un colector solar plano no protegido”<sup>9</sup>.

También, posee algunas características diferentes de los sistemas de calentamiento para consumo residencial, que precisan ser conocidas para obtener un buen desempeño de los equipos escogidos para una determinada función, pues la temperatura del agua varía conforme la actividad desarrollada en la piscina<sup>10</sup>.

---

<sup>8</sup> DOMINI AMBIENTAL. Colector solar placa plana sin cubierta. [Citado el 3 de marzo del 2015]. Disponible en internet: <[http://www.dominiam biental.com/sp/solar\\_termica.asp](http://www.dominiam biental.com/sp/solar_termica.asp)>

<sup>9</sup> MANRIQUE, José A. “Energía Solar”. México: Editorial Harla S. A. 1984. p. 255. ISBN: 968-6034-54-4.

<sup>10</sup> TERMOSOLAR. Colectores de placa plana. Citado el 9 de diciembre de 2014]. Disponible en internet: <<http://www.termosolar.com/>>

### 3.2. COLECTORES DE TUBOS AL VACIO.

Este tipo de colectores suelen ser muy costosos, se requiere de mucho cuidado en la instalación, “poseen un mejor rendimiento y proporcionan mayores temperaturas que los colectores de placa plana, pueden alcanzar temperaturas mayores a los 100° C”<sup>11</sup>.

Según un estudio realizado en el Centro de Energías Renovables, son 196% más eficientes que las placas tradicionales planas, ya que por su forma cilíndrica está recibiendo el sol perpendicularmente desde que amanece hasta que anochece, además las capas interiores del tubo hacen concentrar la radiación infrarroja incluso en días nublados, y al ser 100% cristal borosilicato, los costos de producción son menores a los de los colectores planos que utilizan cobre para su construcción.

Están constituidos habitualmente por dos tubos concéntricos de vidrio, que internamente incluye tubos de metal capaces de absorber calor. Estos tubos presentan el mismo aspecto que un tubo fluorescente tradicional, pero de color oscuro (figura 3)<sup>12</sup>. Los paneles se forman con varios de estos tubos montados en una estructura de peine. Su rendimiento a altas temperaturas es satisfactorio, debido a que no existe pérdidas por convección. Al ser menores las pérdidas, su desempeño será más provechoso en climas fríos.

---

<sup>11</sup> SITIOSOLAR. Los colectores de tubos de vacío. [Citado el 06 de marzo de 2015]. Disponible en internet: <<http://www.sitiosolar.com>>

<sup>12</sup> Ajoever. Calentador de tubos al vacío. [Citado el 06 de marzo de 2015]. Disponible en internet: <<http://www.ajover.co/es/construccion/calentadores-solares-agua/calentador-solar-agua>>

**Figura 3.** Calentador de tubos al vacío.



**Fuente:** Ajover. Calentador de tubos al vacío.

Los colectores de tubos al vacío, tienen un amplio campo de aplicaciones, se ve reflejada en el calentamiento de agua para su aprovechamiento en procesos industriales, en calefactores por radiadores convencionales, y en instalaciones de refrigeración por medio de máquinas de absorción. Maneja temperaturas mayores a las temperaturas de trabajo de los colectores de placa plana, aproximadamente entre 40°C y 130°C, su uso es conveniente para climas regularmente fríos y parcialmente nubosos.

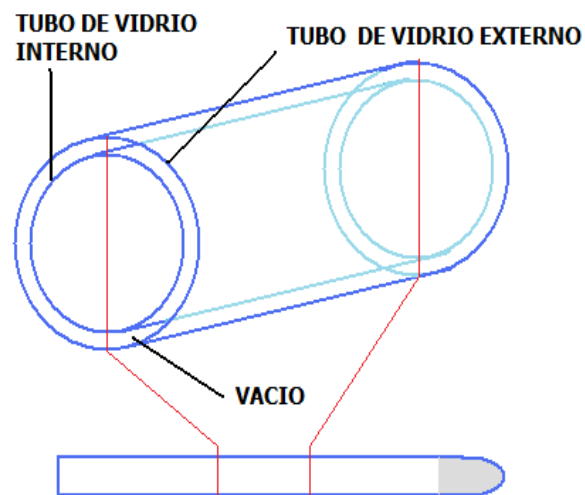
Los colectores de tubos al vacío se clasifican en:

### 3.2.1. TUBOS EVACUADOS SIMPLES

Los tubos evacuados simples son “ensamblados directamente con el depósito acumulador y que por lo tanto contienen agua”. Se utilizan en calentadores solares operando por termosifón. Este tipo de tubo al vacío proporciona pérdidas mínimas, no contienen ninguna protección contra los descensos de temperatura y son sensibles a la presión, lo que lo hace inapropiado para el uso en áreas con temperaturas ambientales bajas.

Este tipo de tubos, ofrece la ventaja de tener las escasas pérdidas de calor, pero tiene alta sensibilidad a la presión y no ofrece ninguna protección contra las bajas temperaturas, perturbando así su utilización en zonas con inviernos fríos sin la inclusión de un calentador eléctrico que caliente el agua del depósito cuando esta alcanza temperaturas muy bajas<sup>11</sup>.

**Figura 4.** Tubos evacuado simple.



**Fuente:** SITIOSOLAR. Los calentadores de tubos de vacío.

Este sistema consiste en tubos evacuados que son acoplados seguidamente al tanque. “En la parte interna del tubo radica un material absorbente por lo general de color negro. Cuando la radiación solar incide sobre la capa de material absorbente se transforma en calor y eleva la temperatura del agua que está en contacto con él”<sup>11</sup>.

El agua calentada se eleva por convección y comienza a ascender siendo reemplazada por agua fría que a su vez se calienta y reinicia el proceso.

### **3.2.2. TUBOS DE VACIO DE FLUJO DIRECTO**

Los colectores de tubo de vacío de flujo directo se utilizan tanto para colectores como para calentadores solares compactos. Estos “colocan en el interior del tubo evacuado una plancha de material absorbente que hace las veces de absorbedor transformando la radiación solar en calor. El absorbedor es recorrido en su superficie por un tubo con flujo directo en el que circula un fluido que eleva su temperatura en contacto con él”<sup>13</sup>.

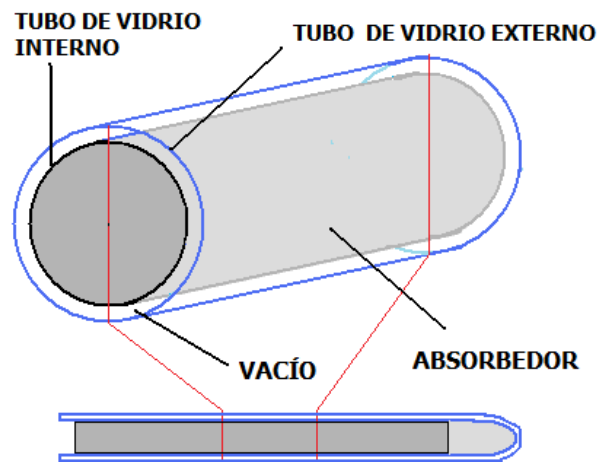
Esta tecnología, puede aceptar posiciones verticales y horizontales sin interferir en su desempeño, esto se debe a que el tubo puede girar sobre su eje, inclinando el absorbedor de la forma más conveniente. Además, pueden ser utilizados en áreas frías ya que permite usar las estrategias contra la congelación de uso general en la energía solar térmica

Algunos de estos colectores emplean el sistema CPC (Colector Parabólico Concéntrico) lo que permite alcanzar mayor eficiencia, debido a que el absorbedor opta un modo semicilíndrico.

---

<sup>13</sup>Colector solar.[Citado 08 marzo de 2015] Disponible en internet:  
<http://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/FAA/Solar%20termica2.pdf>

**Figura 5.** Tubo de vacíos de flujo directo



**Fuente:** SITIOSOLAR. Los colectores de tubos de vacío.

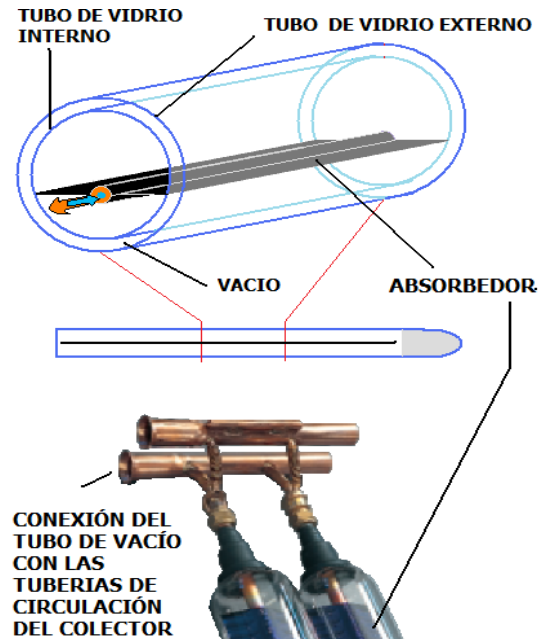
### 3.2.3. TUBOS DE VACIO DE HEAT PIPE

Estos tubos, también son conocidos como tubos de calor, se consideran como un superconductor térmico por su eficiente funcionamiento.

Este dispositivo consta de un tubo cerrado en el cual pasa un fluido de propiedades específicas, que absorbe calor y lo evapora cuando el sol incide sobre el absorbedor que se encuentra al respaldo del tubo. Ya evaporado asciende sobre el agua a la parte superior del tubo, entonces se condensa y transfiere calor latente al agua obligándola a descender por gravedad a la parte inferior del tubo. Esta serie de pasos se repiten hasta que el colector obtenga una temperatura de 130° o más.

Actualmente la tecnología de tubos al vacío es la más competente de los colectores solares térmicos<sup>11</sup>.

**Figura 6.** Tubo de vacío de Heat Pipe



**Fuente:** SITIOSOLAR. Los colectores de tubos de vacío.

Para la construcción de un sistema de calentamiento solar de agua hay que tener en cuenta dos factores importantes: el primer factor es el nivel de radiación solar en el lugar de instalación del calentador de agua para determinar si es viable su instalación y el segundo factor es el diseño del colector solar. La combinación de ambos factores determina el costo del sistema. Estos costos se reducen notablemente en zonas de alta incidencia solar. Los criterios en los que se basa la construcción de los sistemas de calentamiento solar de agua están basados en las experiencias acumuladas durante la evaluación de un calentador solar prototipo, en la investigación teórica y en el desarrollo de un programa para el cálculo de calentadores solares. Algunos aspectos importantes para tener en cuenta al momento de la construcción son la radiación solar, demanda energética, número de

colectores, volumen y aislamiento del depósito de almacenamiento (Vergara, 2003)<sup>14</sup>.

El modelo que describe lo que sucede en un colector solar se basa en la resolución de un sistema de ecuaciones diferenciales acopladas que describen la conservación de la energía para la cubierta de cristal, espacio de aire, de absorción, de fluidos, de aislamiento, y el tanque de almacenamiento. El modelo general es adecuado para investigar la eficacia de los diversos componentes sin la necesidad de llevar a cabo el trabajo experimental, y es útil para simulaciones transitorias de sistemas de energía<sup>15</sup>.

Existen diferentes tipos de calentadores solares entre ellos los de placa plana, que funcionan muy bien en climas tropicales cerca al nivel del mar donde la incidencia de la radiación solar es mayor, además porque en zonas de altura donde la temperatura es demasiado baja, la rejilla de los colectores colapsan por el congelamiento del fluido. Actualmente para suplir las necesidades en las zonas de altura se venden los colectores de tubos al vacío que tienen una eficiencia mayor que los de placa plana en climas desfavorables por tener como aislante térmico el vacío. El comportamiento térmico de los tubos de vacío depende de la velocidad de calentamiento del fluido el cual se puede determinar analizando la evolución de la temperatura en un tanque acumulador (Montoya; Palo; Cabana; Soria, 2011)<sup>16</sup>.

---

<sup>14</sup>GUEVARA, Sixto. Diseño del sistema de calentamiento solar de agua. Lima. Unidad de Apoyo Técnico para el saneamiento básico del área rural. 2003

<sup>15</sup> SALEH, Ahamd M, et al. Flat-Plate Solar Collector in Transient Operation: Modeling and Measurements. ASME paper No. TSEA-13-1208

<sup>16</sup> MONTOYA P, Alberto, et al. Estudio de evaluación de eficiencia de un calentador solar de tubos al vacío con tanque acumulador, de la empresa D'SOL. Arequipa, Peru. Universidad Nacional de San Agustín. 2011



Una de las aplicaciones de los calentadores solares es la estabilidad y apoyo que puede brindar como sistema auxiliar. La ausencia de contaminación del medio ambiente, el uso de energía de bajo costo y la interminable fuente del sol son las principales razones del creciente uso de calentadores solares de agua en diferentes tipos de climas, a excepción de las regiones con inviernos duros. El uso de este tipo de calentador de agua como un calentador auxiliar puede reducir el costo de vida en periodo largo plazo. Se recomienda que el tanque de almacenamiento este diseñado de tal manera que el fluido que entra al colector este a una temperatura próxima a la de su alrededor<sup>17</sup>.

Para reducir las altas pérdidas térmicas que se dan en el transcurso de la noche se propone una nueva estrategia que examine el rendimiento térmico de un calentador de agua solar con un colector integrado reduciendo estas pérdidas. El análisis de estos sistemas solares de rendimiento diario muestra que el calentador solar modificado es capaz de generar un mayor rendimiento térmico y presenta menores pérdidas. De esta manera, este calentador basado en un tanque cubierto se muestra un mayor rendimiento en la retención de las temperaturas más altas durante más tiempo. Los resultados también sugieren que el mejor rendimiento corresponde a la separación espacio de aire más bajo<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> RESEARCH AND MARKETS. Solar Water Heater (SMW) Market in India 2014-2018-Emerging Demand for HWHs. Regional Bussines News. No. bizwire c5847590

<sup>18</sup> CHABANE, Monia, et al. Effect or the water Storage Tank Coverage with an Outer Glass Tube on the Thermal Performance of an Integrated Collector Storage Solar Water Heater. ASME paper No. SOL-13-1246.

#### 4. METODOLOGÍA

A partir del arreglo de colectores de placa plana que se encuentra en la azotea del de la cafetería del edificio I, se seleccionó y se efectuó la compra del colector de tubos al vacío teniendo en cuenta que la capacidad del tanque de almacenamiento fuera similar a la capacidad del tanque de los colectores de placa plana, con el fin de realizar una comparación de sus curvas de desempeño y con estas determinar el más óptimo. Estos calentadores de agua trabajan bajo el principio de termosifón. Cuando el agua su densidad y su peso disminuyen, el agua asciende al tanque, a la vez el agua fría almacenada desciende hasta el serpentín o tubos captadores de calor en el caso de los colectores de tubos al vacío, esto se debe a que su peso y su densidad es mayor.

Para determinar el desempeño, se realizaron pruebas desde el 06 al 22 de febrero del presente año, tomando los parámetros necesarios para calcular la eficiencia de cada sistema, como las temperaturas de entradas, salidas de cada colector, temperaturas en el tanque de almacenamiento y la radiación solar. Las pruebas se efectuaron con periodos de 4 horas por día, de 10:00 a.m. a 2:00 p.m. tomando los datos cada 20 minutos, por cada parámetro necesario para realizar los cálculos, se hicieron 3 lecturas con intervalo entre sí de 1 minuto, con el fin de obtener una lectura más acertada.

Las temperaturas  $T_e$  y  $T_s$  fueron obtenidas a través de las termocuplas que fueron conectadas a multímetros medidores de temperatura, la temperatura ambiente se obtuvo a través de aplicaciones móviles y la radiación solar se adquirió por medio de un piranómetro.

Evaluando cada colector de manera independiente, instalando los colectores de placa plana en paralelo y modificando el ángulo de orientación. Con el fin de comparar los resultados de cada conexión y determinar el sistema más eficaz.

#### 4.1. CONSTRUCCIÓN SERPENTÍN EN ACERO INOXIDABLE

Tomando como referencia el diseño del serpentín en el proyecto diseño, construcción y evaluación de un sistema de calentamiento de agua con un arreglo en serie de colectores de placa plana, utilizando energía solar<sup>19</sup>. Se tomaron las mismas dimensiones para la construcción del serpentín, cambiando el material por acero inoxidable, con el fin de observar cómo influye el tipo de material en la absorción de calor y evaluar que tanto varía el desempeño de los colectores con los diferentes tipos de material, cobre y aluminio, comparándolos con el colector de tubos al vacío.

Para la construcción se utilizó tubería de acero inoxidable de 1 ½", y algunos accesorios como:

- Tapones de acero inoxidable de 1 ½".
- Reducciones galvanizadas de 1 ½" a ½".
- Uniones universales 1 ½".
- Adaptador macho de acero inoxidable de 1 ½".

En la (figura 7) se muestra el serpentín terminado, se realizaron pruebas antes del montaje para verificar que la soldadura se aplicó correctamente y que no existieran fugas.

---

<sup>19</sup> AMAYA DURÁN, Heizer y SOLANO DÍAZ, Luis Adalberto. Diseño, construcción y evaluación de un sistema de calentamiento de agua, con un arreglo en serie de colectores de placa plana, utilizando energía solar. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2014. 1 CD-ROM.

**Figura 7.** Serpentín de acero inoxidable.



**Fuente:** autores del proyecto.

#### 4.2. CÁLCULOS Y RESULTADOS

A continuación, como ejemplo se muestra la técnica que se empleó para calcular cada una de las variables necesarias para hallar las eficiencias de las 10:00 a.m. del colector con serpentín de acero inoxidable.

**Tabla 1.** Datos necesarios para el cálculo de la eficiencia del colector con serpentín de acero inoxidable día 1.

#	Hora	$T_e$	$T_s$	$T_a$	H
1	10:00a.m.	35	37	26	595
2	10:01a.m.	35	38	26	605
3	10:02a.m.	35	39	26	513

$T_e$ : Temperatura de entrada en°C.

$T_s$ : Temperatura de salida en°C.

$T_m$ : Temperatura media en°C.

$T_a$ : Temperatura ambiente en°C.

$H$ : Radiación solar w/m<sup>2</sup>.

$X$ : Ecuación diferencial.

$\eta$ : Eficiencia.

$\sigma$ : Desviación estándar.

%e: Porcentaje de error.

Con los datos tomados de la tabla, se realizará el paso a paso de como calcular cada una de las variables.

La temperatura media ( $T_m$ ) se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$T_m = \frac{T_{e1} + T_{s1}}{2} \quad \text{Ecuación [1]}$$

Se realizaran los cálculos para la fila 1, que servirán de base para realizar las demás filas:

$$T_m = \frac{T_e + T_s}{2} = \frac{37 + 35}{2} = 36^\circ C$$

Los parámetros obtenidos en las pruebas realizadas se destinan para hallar la eficiencia de un colector. La eficiencia está definida por la relación entre la energía captada y la recibida un instante establecido.

$$\eta = \frac{Q}{SH} \quad \text{Ecuación [2]}$$

Donde,

Q= Energía útil (W)

S= Superficie del colector ( $m^2$ )

H= Radiación incidente total sobre el colector por unidad de superficie ( $W/m^2$ )

Pero el calor útil, según la ecuación de Bliss es:

$$Q = F_R S [H(\tau\alpha) - U(T_m - T_a)] \quad \text{Ecuación [3]}$$

Donde,

$F_R$ = factor de eficacia o coeficiente de transporte (siempre menor a 1).

S=superficie del colector.

H= radiación incidente total sobre el colector por unidad de superficie ( $W/m^2$ ), es decir, intensidad radiante.

$\alpha$  = absortancia de la placa absorbadora.

U = coeficiente global de perdidas [ $W/ (m^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ ].

$T_m$  = temperatura media de la placa absorbadora ( $^\circ\text{C}$ ).

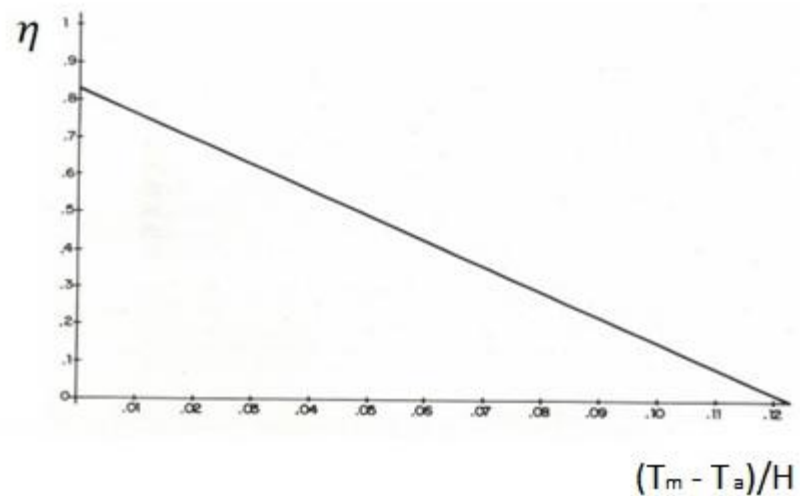
$T_a$  = temperatura ambiente ( $^\circ\text{C}$ ).

Sustituyendo la ecuación [3] en [2]

$$\eta = F_R [(\tau\alpha) - U(T_m - T_a)/H] \quad \text{Ecuación [4]}$$

En la (figura 8) se muestra la curva característica de un colector solar de tipo medio. Esta curva puede asimilarse con mayor precisión a la de una recta en la que la variable en el eje de abscisas es  $(T_m - T_a) / H$  y la pendiente es  $F_R U_L$ .

**Figura 8.** Curva característica de colector de placa plana de tipo medio.



**Fuente:** Censolar. Curso de Proyectista Instalador de Energía Solar.

La ecuación de la recta presentada en la figura 8, puede ser escrita de la manera simplificada como:

$$\eta = b - mx \quad \text{Ecuación [5]}$$

Donde,

$m = F_R U_L$  (pendiente).

$b = F_R (\tau\alpha)_N$  (ordenada en el origen).

$x = (T_m - T_a) / H$  (Variable representada en el eje de abscisas).

De la figura 8, podemos deducir que b es el punto de corte en el eje de ordenadas (b= 0.83), y tomando dos puntos de la recta (0, 0.83) y (0.122, 0), entonces:

$$m = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{0.83}{0.122} = 6.8$$

Sustituyendo b y m por su valor en la ecuación [5], resulta:

$$\eta = 0.83 - 6.8 * x \quad \text{Ecuación [6]}$$

La ecuación [6] será la ecuación utilizada para el cálculo de la eficiencia de los sistemas de calentamiento de agua solar usados en el proyecto<sup>7</sup>.

Luego se calcula con la ecuación:

$$x = \frac{T_m - T_a}{H} = \frac{36 - 26}{595} = 0,0168 \quad \text{Ecuación [7]}$$

Siguiendo el paso a paso de como calcular las variables, procedemos a hallar la eficiencia.

$$\eta = 0.83 - 6.8 * 0.0168 = 0.7157$$

Para efectuar el cálculo del promedio de cada variable, se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad \text{Ecuación [8]}$$

N: Número de dato

$X_i$ : Variables

Como el número de datos tomados por cada variable es 3, se tomaron 3 datos, se reemplaza en la ecuación [8]. Tomando como ejemplo la temperatura de salida, se tiene que:



$$\bar{X} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 X_i = \frac{1}{3} (T_1 + T_2 + T_3) = \frac{1}{3} (37 + 38 + 39) = 38^\circ\text{C}$$

Posteriormente se calcula la desviación estándar, ya que es necesaria para hallar el porcentaje de error del promedio de cada toma de datos.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Ecuación [9]}$$

N: número de datos

$X_i$ : Variables

$\bar{X}$ : Promedio

Conociendo el número de datos y el promedio, Se sustituye N=3 y  $\bar{X}$ =38, tomando los datos de la temperatura de salida, se obtiene la desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{3-1} \sum_{i=1}^3 (X_i - 38)^2} = \sqrt{\frac{1}{2} [(37 - 38)^2 + (38 - 38)^2 + (39 - 38)^2]} = 1$$

Una vez obtenida la desviación estándar se calcula el porcentaje de error:

$$\%e = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación [10]}$$

Donde,

$\sigma$ : Desviación estándar

N: números de datos

$$\%e = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577$$

Aplicando las fórmulas anteriores para las demás variables y reemplazando en la tabla 2.

**Tabla 2.** Resultado de los cálculos para el colector de serpentín de acero inoxidable.

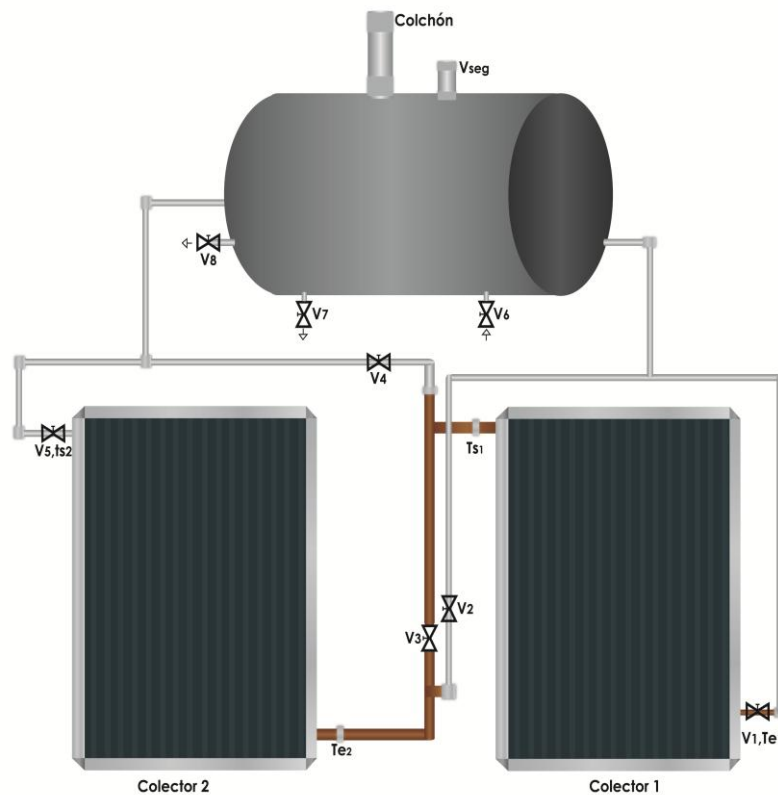
#	Hora	T <sub>e</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>a</sub>	H	X	η
1	10:00a.m.	35	37	36	26	595	0,0168	0,7157
2	10:01a.m.	35	38	36,5	26	605	0,0173	0,7120
3	10:02a.m.	35	39	37	26	513	0,0214	0,6842
Promedio		35	38	38.25	26	571	0,0255	0,7040
σ		0	1	0,5	0	50,4778	0,0025	0,0172
%e		0	0,577	0,289	0	29,143	0,0015	0,0099

Finalmente se obtiene una eficiencia promedio con un porcentaje de error de  $\bar{\eta} = 0,7040 \pm 0,0099\%$ .

### 4.3. RESULTADOS

Las gráficas de eficiencias vs tiempo y temperatura vs tiempo se obtienen conforme a las tablas de anexos de la A1.1 a la A18.1 donde se encuentran los cálculos de cada conexión que se realizaron en base al esquema de funcionamiento de los colectores de placa plana y del colector de tubos al vacío, como se muestra en la figura 9 y en la figura 10.

**Figura 9.** Conexión del sistema de calentamiento.



**Fuente:** AMAYA DURAN, Heizer y SOLANO DIAZ, Luis Adalberto. Diseño, construcción y evaluación de un sistema de calentamiento de agua, con un arreglo en serie de colectores de placa plana, utilizando energía solar.

Donde,

Colector 1= Colector con serpentín de cobre

Colector 2= Colector con serpentín de acero inoxidable

$V_1$ = Válvula de entrada de agua al colector 1

$V_2$ = Válvula de entrada de agua desde el tanque al colector 2

$V_3$ = Válvula de entrada de agua desde el colector 1 al colector 2

$V_4$ = Válvula de salida de agua del colector 1 al tanque

$V_5$ = Válvula de salida de agua del colector 2 al tanque

$V_6$ = Válvula de desagüe del tanque

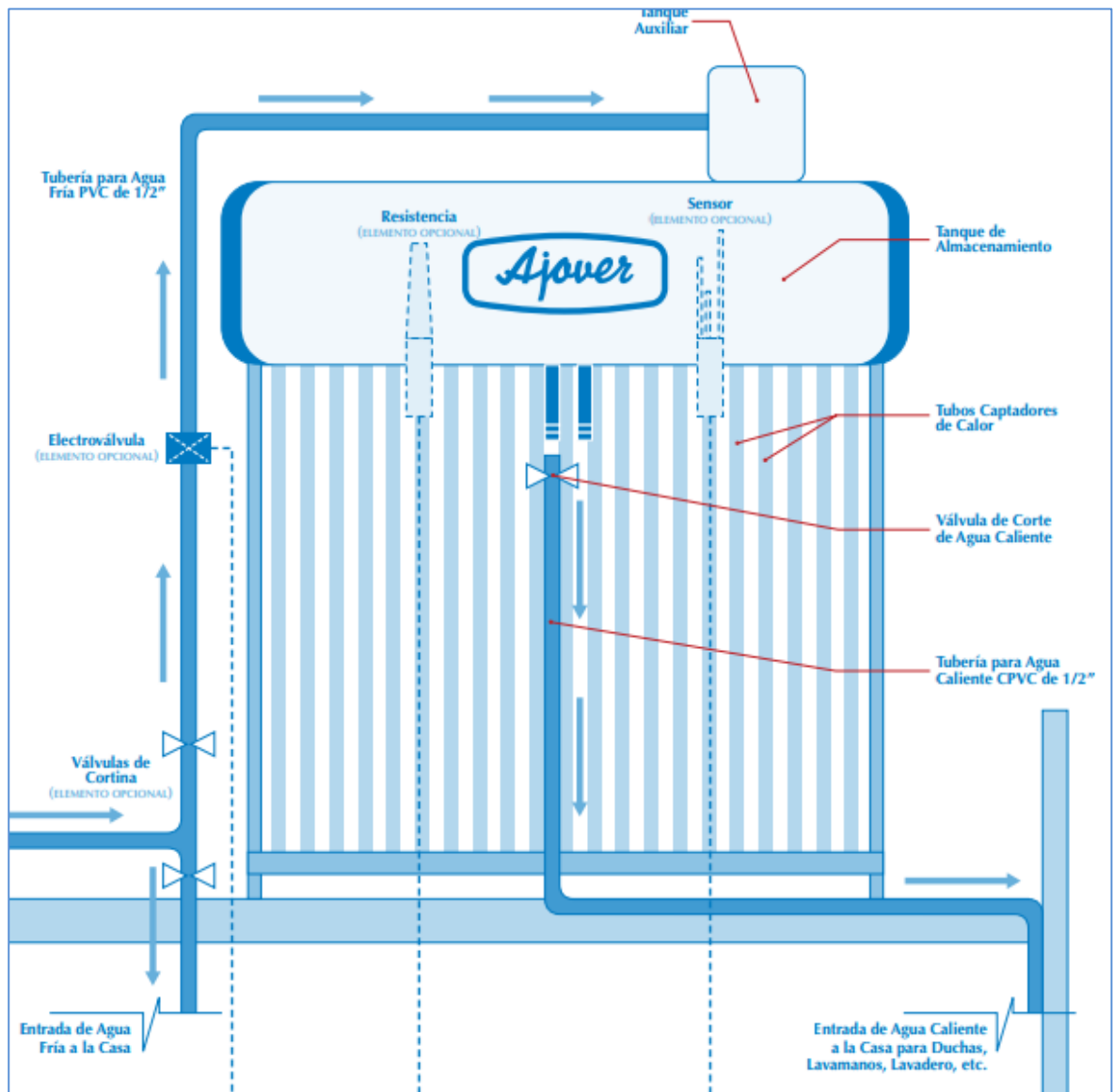
$V_7$ = Válvula de suministro de agua de la red

$V_8$ = Válvula de servicio de agua caliente

$V_{seg}$ = Válvula de seguridad

*Colchon*= Colchón de aire

**Figura 10.** Esquema de funcionamiento de un calentador tubos al vacío.



**Fuente:** Ajoover. Esquema de funcionamiento de un calentador de tubos al vacío.

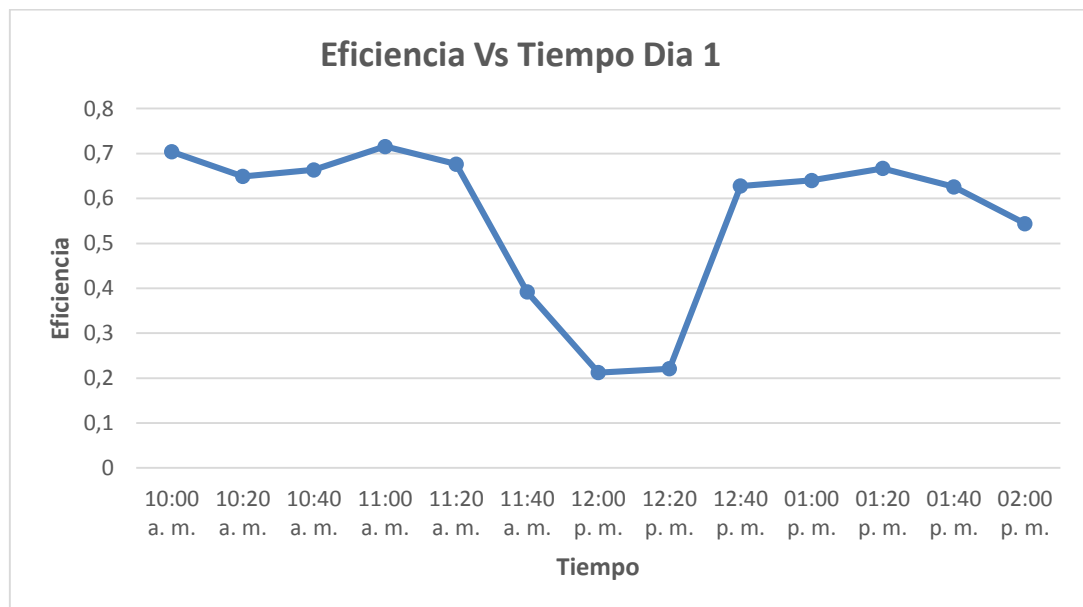
$V_1$  = Válvula de entrada, de suministro de agua de la red

$V_2$ =Válvula de servicio de agua caliente

#### 4.3.1. PRUEBAS COLECTOR CON SERPENTÍN DE ACERO INOXIDABLE

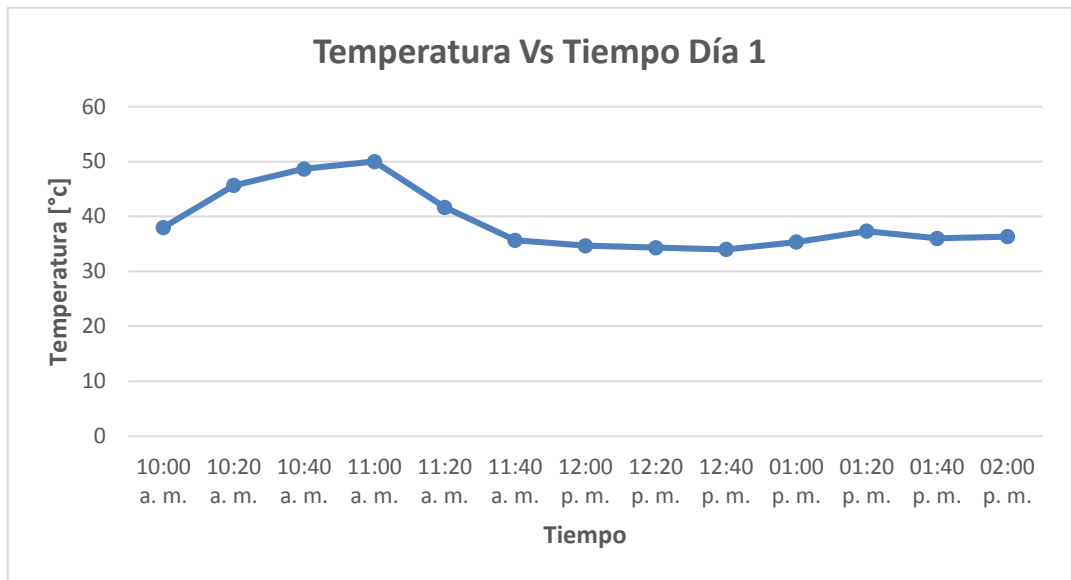
Para evaluar el funcionamiento del colector con serpentín de acero inoxidable, se debe mantener abiertas las válvulas  $V_2$  y  $V_5$ , y cerrar las válvulas  $V_1$ ,  $V_3$  y  $V_4$ , para que no haya paso de agua al colector con serpentín de cobre. En las (figuras 11-16) se muestran las curvas de eficiencia vs tiempo, y de temperatura vs tiempo de cada prueba con el colector de acero inoxidable, alcanzando una eficiencia máxima de 71,58%, el primer día de pruebas, a las 11:00 a.m. y una temperatura máxima de 55°C, el segundo día de pruebas, a las 1:20 p.m.

**Figura 11.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable, primer día de pruebas.



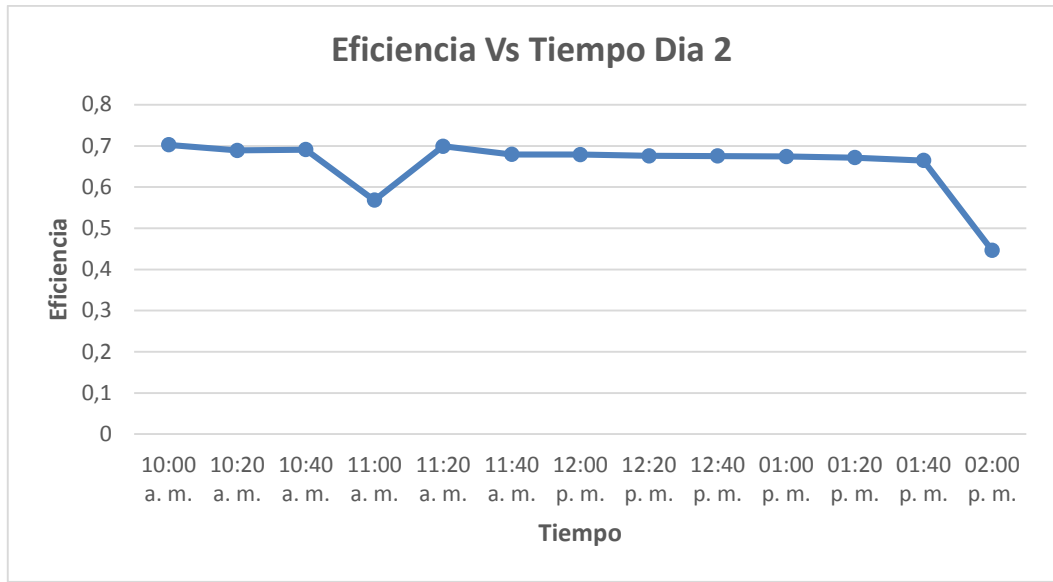
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 12.** Curva de temperatura vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable, primer día de pruebas.



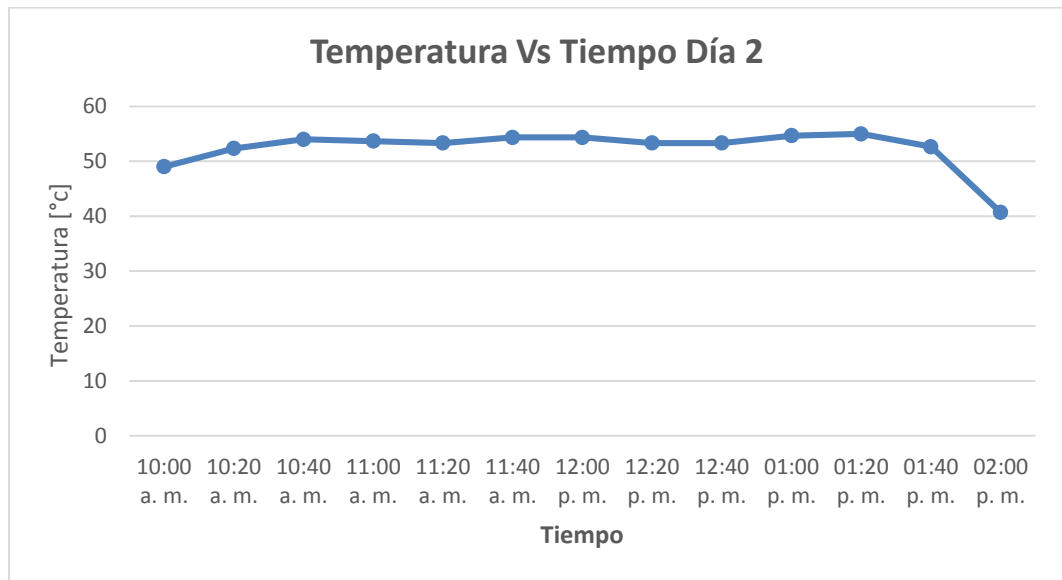
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 13.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable, segundo día de pruebas.



Fuente: autores del proyecto.

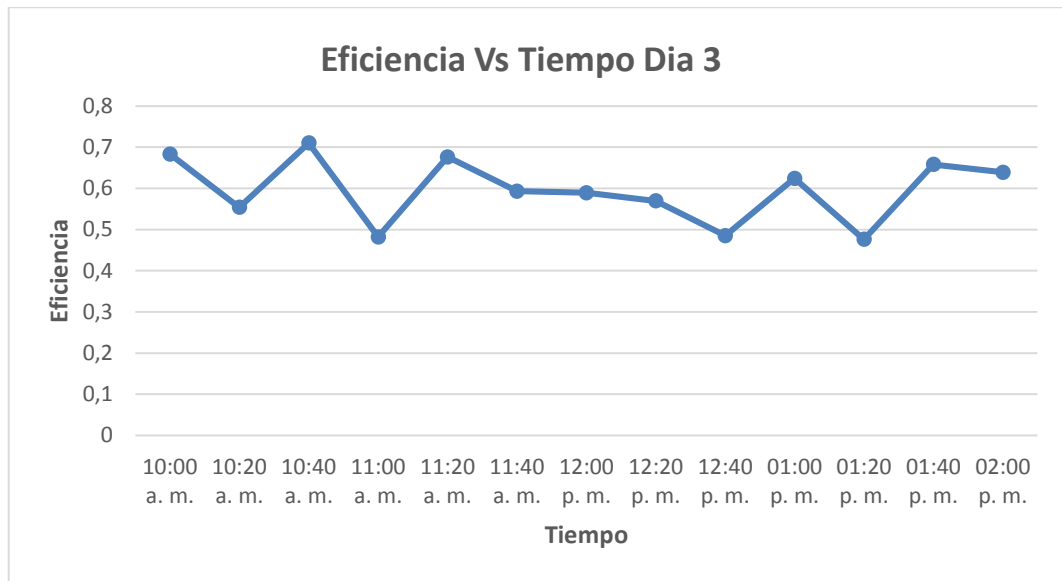
**Figura 14.** Curva de temperatura vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable, segundo día de pruebas.



Fuente: autores del proyecto.

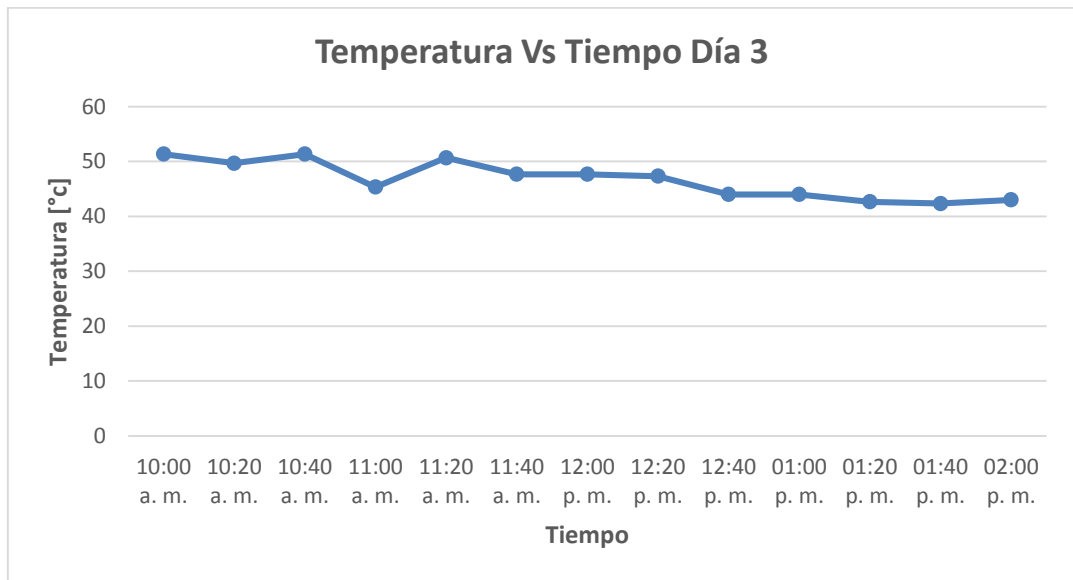


**Figura 15.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable, tercer día de pruebas.



**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 16.** Curva de temperatura vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable, tercer día de pruebas.

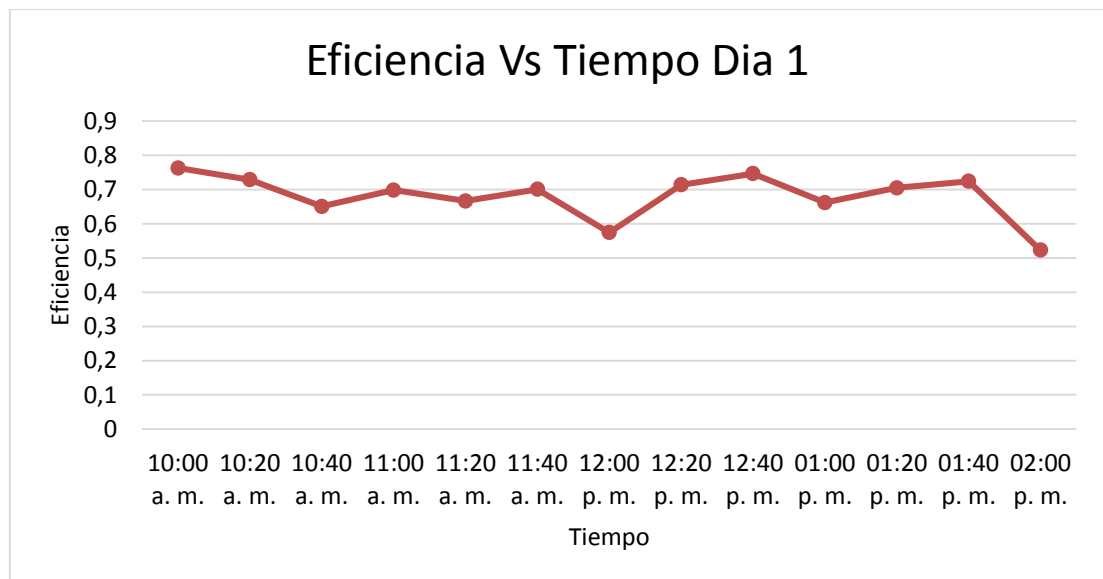


**Fuente:** autores del proyecto.

### 4.3.2. PRUEBAS COLECTOR CON SERPENTÍN DE COBRE

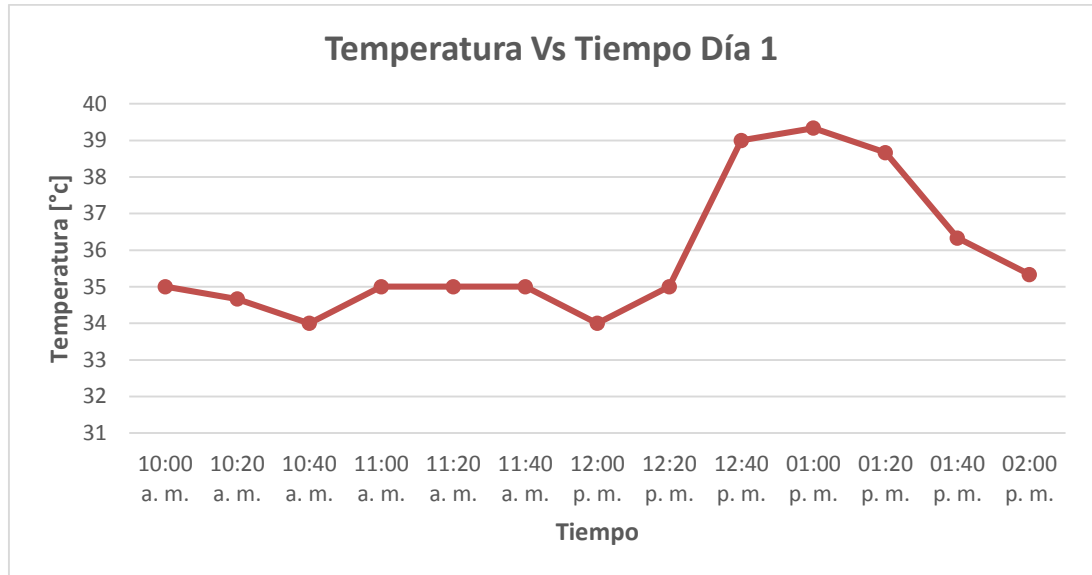
Para evaluar el funcionamiento del colector con serpentín de cobre, se debe mantener abiertas las válvulas  $V_1$  y  $V_4$ , y cerrar las válvulas  $V_2$ ,  $V_3$  y  $V_5$ , para obstruir el paso de agua al colector con serpentín de acero inoxidable. En las (Figuras 17-22) se muestran las curvas de eficiencia vs tiempo, y temperatura vs tiempo de cada prueba realizada con el colector con serpentín de cobre, alcanzando una eficiencia máxima de 76,31%, el primer día de pruebas, a las 10:00 a.m. y una temperatura máxima de 41,67°C el segundo y tercer día de pruebas a las 10:00 a.m. y a las 10:20 a.m. respectivamente.

**Figura 17.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de cobre, primer día de pruebas.



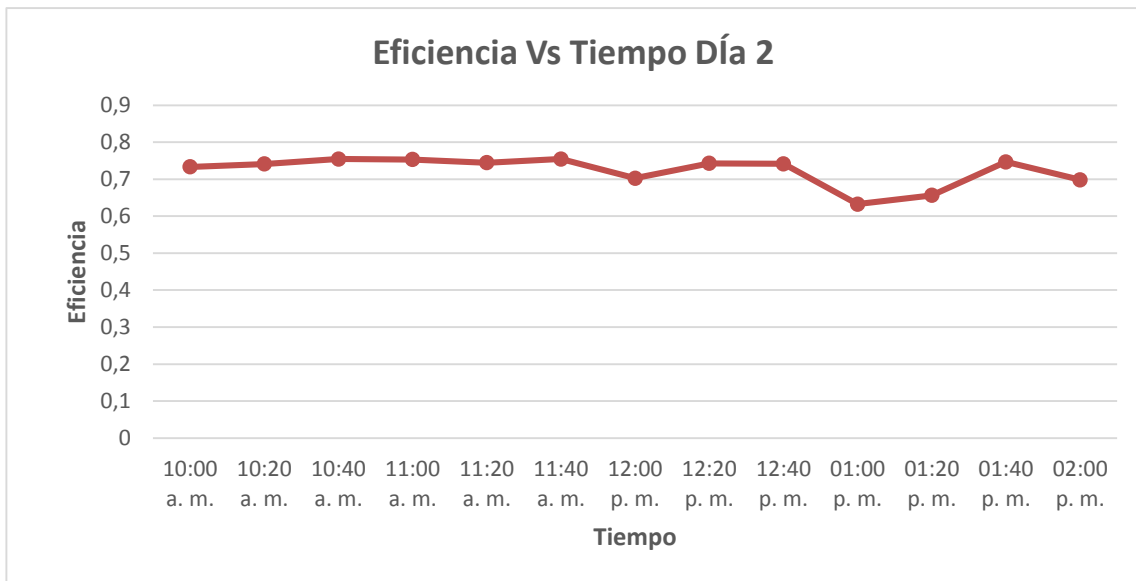
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 18.** Curva de temperatura vs tiempo del colector con serpentín de cobre, primer día de pruebas.



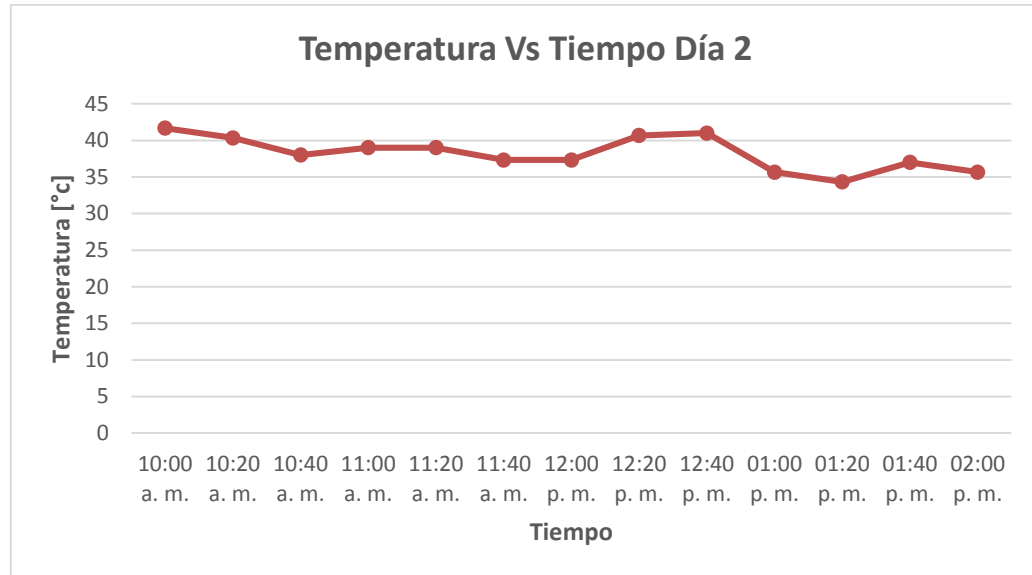
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 19.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de cobre, segundo día de pruebas.



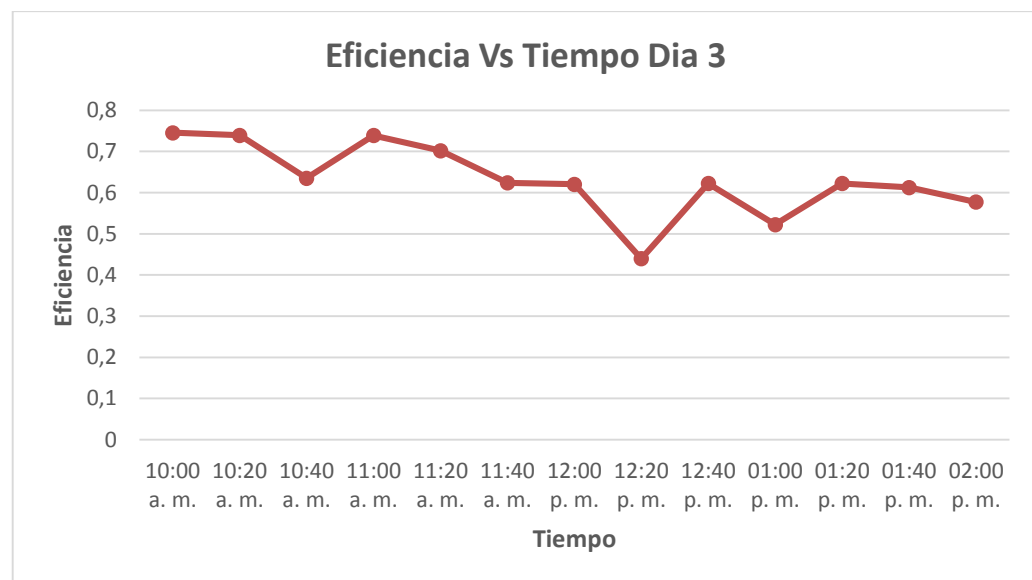
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 20.** Curva de temperatura vs tiempo del colector con serpentín de cobre, segundo día de pruebas.



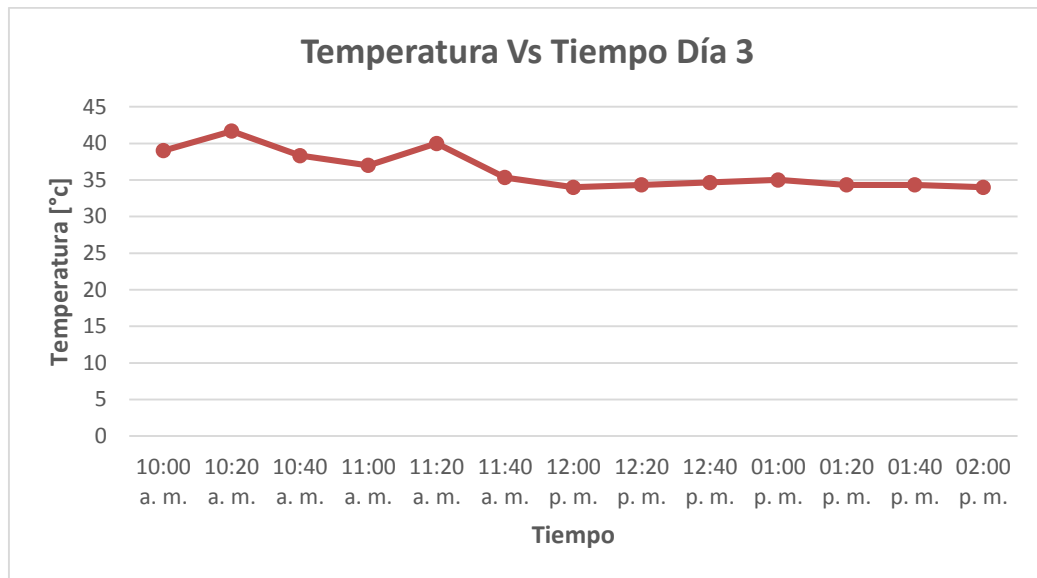
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 21.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de cobre, tercer día de pruebas.



**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 22.** Curva de temperatura vs tiempo del colector con serpentín de cobre, tercer día de pruebas.

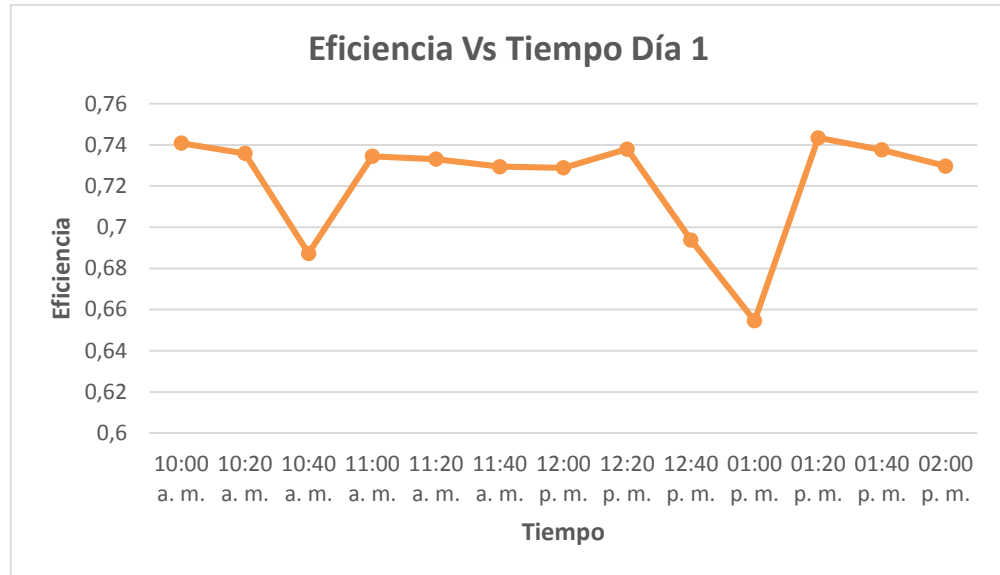


**Fuente:** autores del proyecto.

#### **4.3.3. PRUEBAS DE COLECTORES DE PLACA PLANA EN PARALELO**

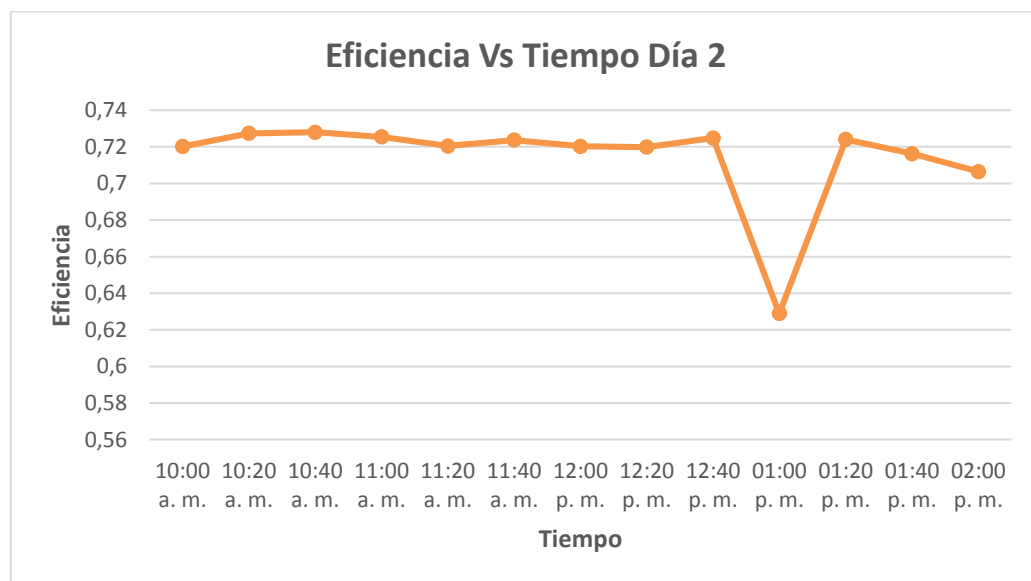
Se conectaron los colectores de placa plana en paralelo, con el propósito de estudiar el funcionamiento de los colectores actuando al tiempo, y evaluar su rendimiento. Se deben abrir las válvulas  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_4$  y  $V_5$ , y cerrar solamente la válvula  $V_3$ . En las (Figuras 23-25) se muestran las curva de eficiencia vs tiempo, y de temperatura vs tiempo que se obtuvo en la prueba de los dos colectores conectados en paralelo. Alcanzado una eficiencia máxima de 74,34%, el primer día de pruebas, a las 1:20 a.m.

**Figura 23.** Curva de eficiencia vs tiempo de los colectores de placa plana en paralelo, primer día de pruebas.



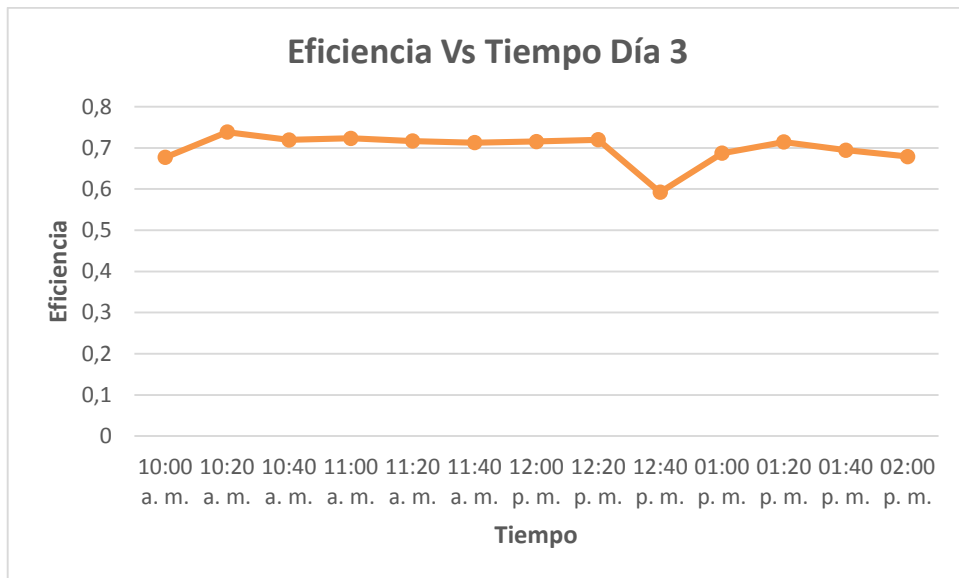
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 24.** Curva de eficiencia vs tiempo de los colectores de placa plana en paralelo, segundo día de pruebas.



**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 25.** Curva de eficiencia vs tiempo de los colectores de placa plana en paralelo, tercer día de pruebas.

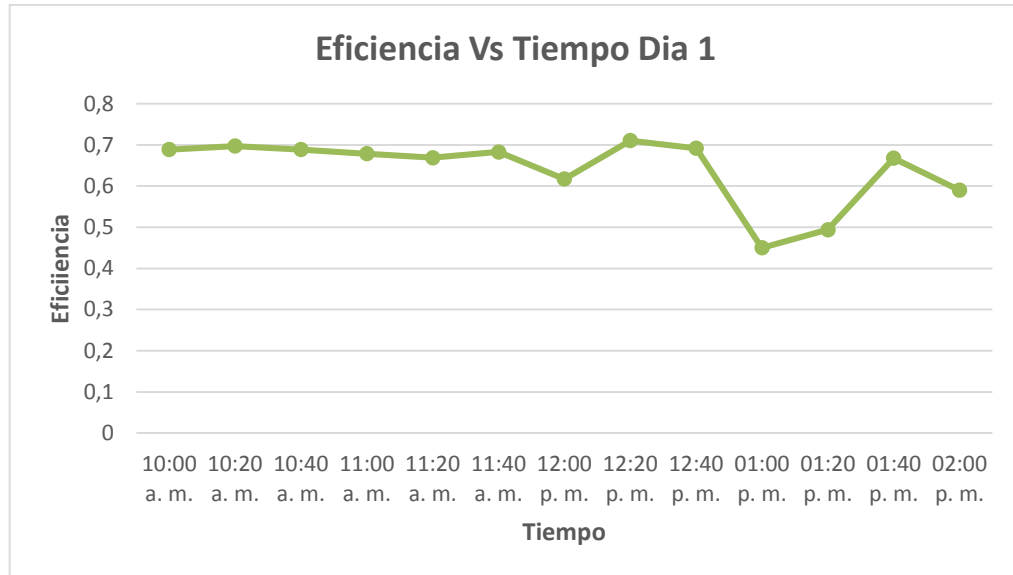


**Fuente:** autores del proyecto.

#### 4.3.4. PRUEBAS COLECTOR DE TUBOS AL VACÍO

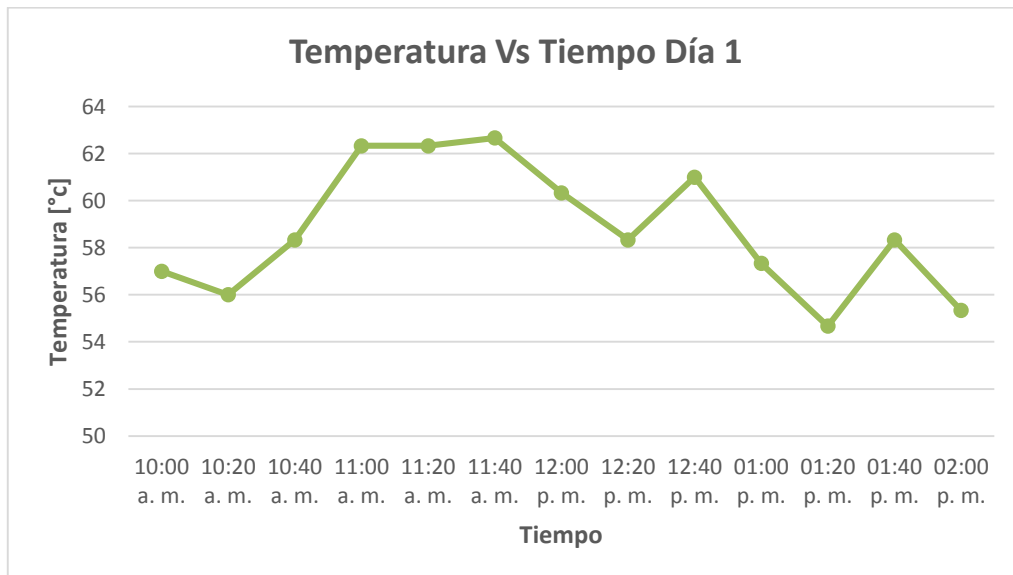
Para realizar las pruebas del colector con tubos al vacío, dada la facilidad de usar este colector, se deben abrir la válvula de suministro de agua de la red, y la válvula de servicio de agua caliente, esto se hace para realizar la toma de datos en la entrada y salida del colector. En las (Figuras 26-31) se muestran las curvas de eficiencia vs tiempo, y temperatura vs tiempo que se obtuvieron de las pruebas realizadas con el colector de tubos al vacío, alcanzando una eficiencia máxima de 72,3%, el tercer día de pruebas, a las 10:00 a.m. y una temperatura máxima de 62,67°C, el primer y tercer día de pruebas, a las 11:40 a.m. y 12:00 p.m. respectivamente.

**Figura 26.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector de tubos al vacío, primer día de pruebas.



**Fuente:** autores del proyecto.

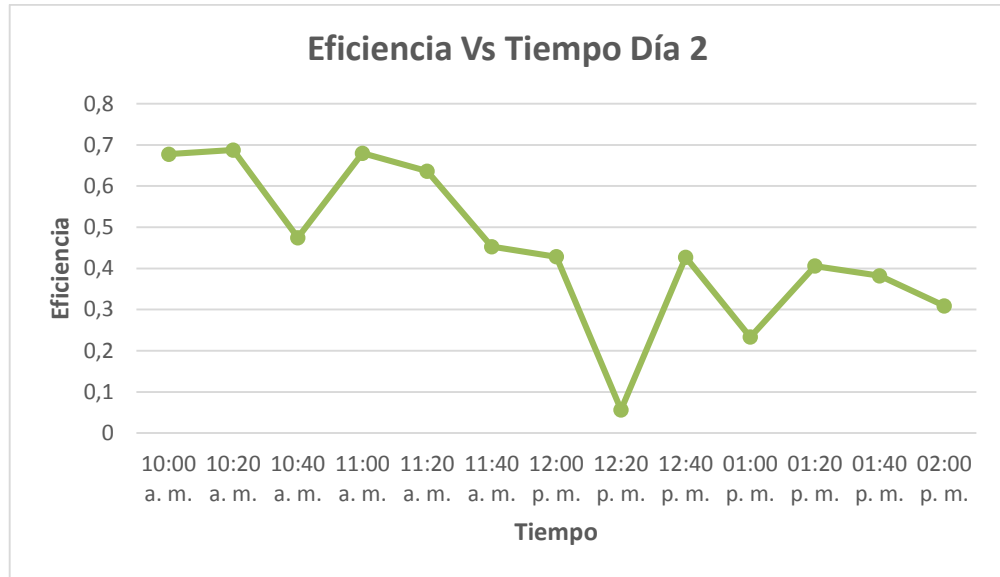
**Figura 27.** Curva de temperatura vs tiempo del colector de tubos al vacío, primer día de pruebas.



**Fuente:** autores del proyecto.

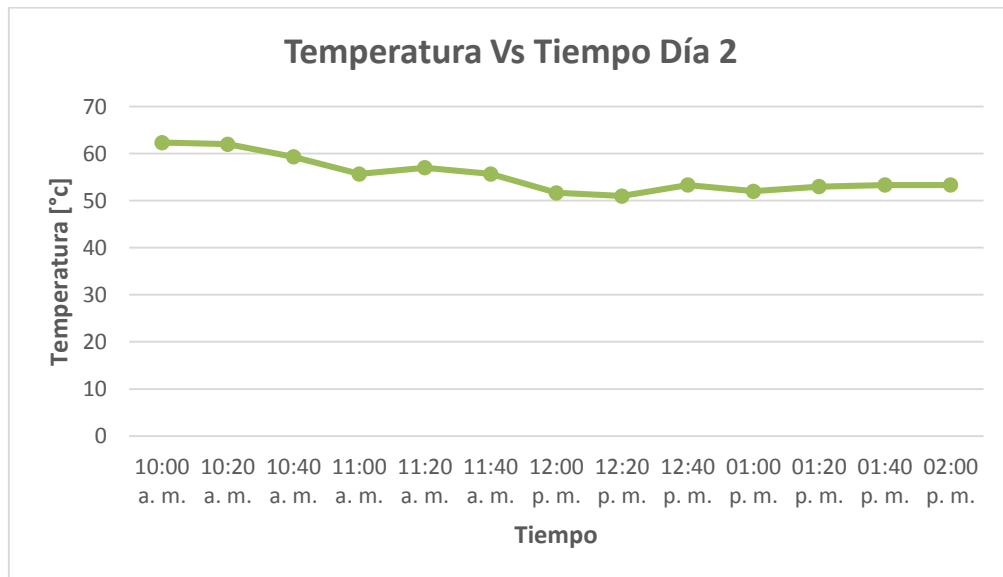


**Figura 28.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector de tubos al vacío, segundo día de pruebas.



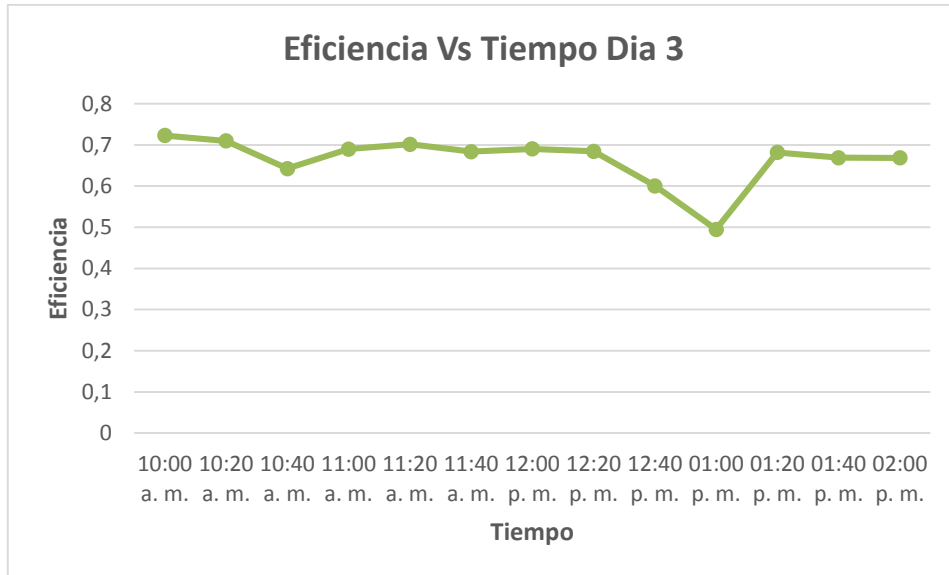
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 29.** Curva de temperatura vs tiempo del colector de tubos al vacío, segundo día de pruebas.



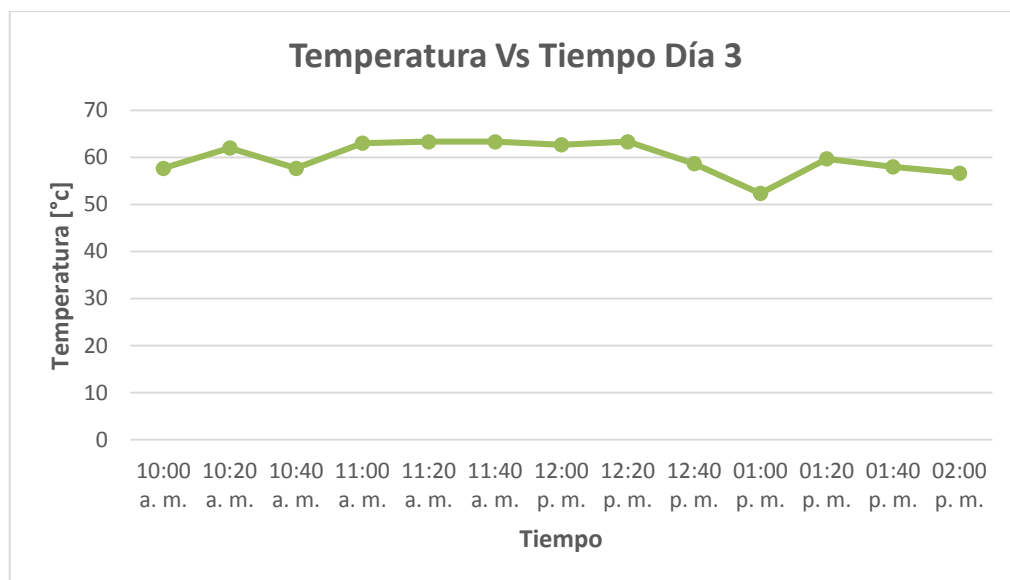
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 30.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector de tubos al vacío, tercer día de pruebas.



**Fuente:** autores del proyecto.

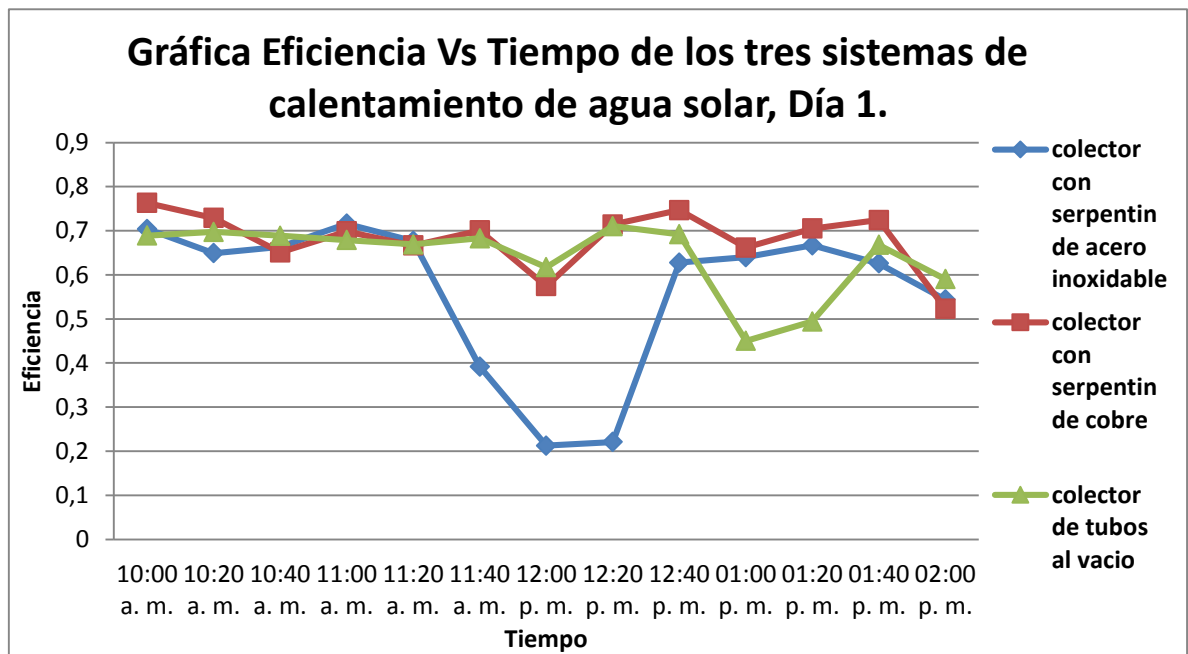
**Figura 31.** Curva de temperatura vs tiempo del colector de tubos al vacío, tercer día de pruebas.



**Fuente:** autores del proyecto.

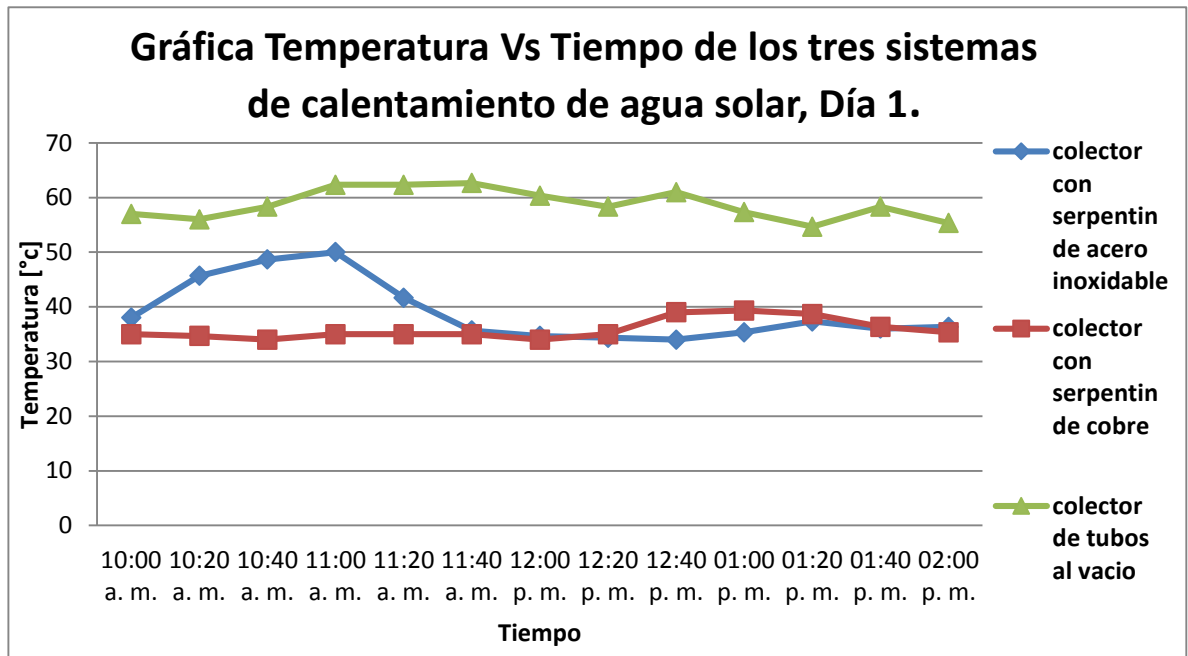
Luego de recolectar los resultados de los cálculos de eficiencias y las curvas de desempeño y de temperatura de cada colector, se efectuó las comparaciones necesarias para determinar el sistema más eficaz, entre los tres colectores. En las (Figuras 32-37) se muestra una comparación por día, de las eficiencias resultantes y de temperatura de salida de cada prueba elaborada, se alcanzó una eficiencia máxima de 76,31%, el primer día de pruebas, a las 10:00 a.m. pertinente al colector con serpentín de cobre y una temperatura máxima de 62,67°C, el primer y tercer día de pruebas, a las 11:40 a.m. y 12:00 p.m. respectivamente que corresponde a el colector de tubos al vacío.

**Figura 32.** Comparación de las eficiencias de las diferentes conexiones, primer día.



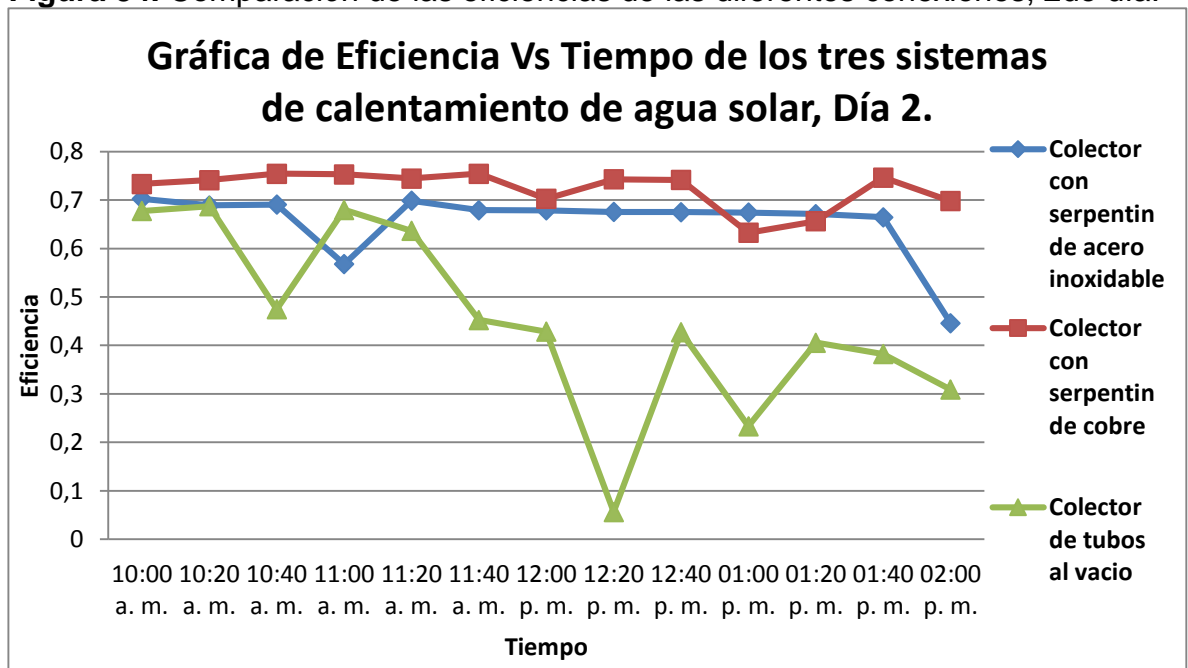
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 33.** Comparación de las temperaturas de salida de las diferentes conexiones, primer día.



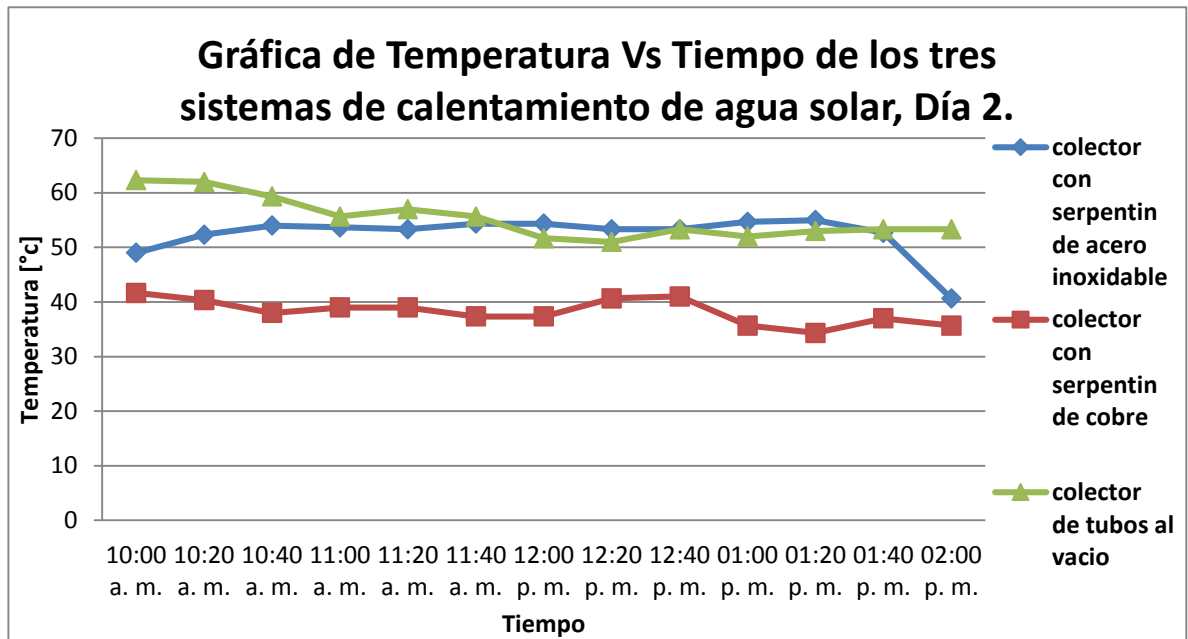
Fuente: autores del proyecto.

**Figura 34.** Comparación de las eficiencias de las diferentes conexiones, 2do día.



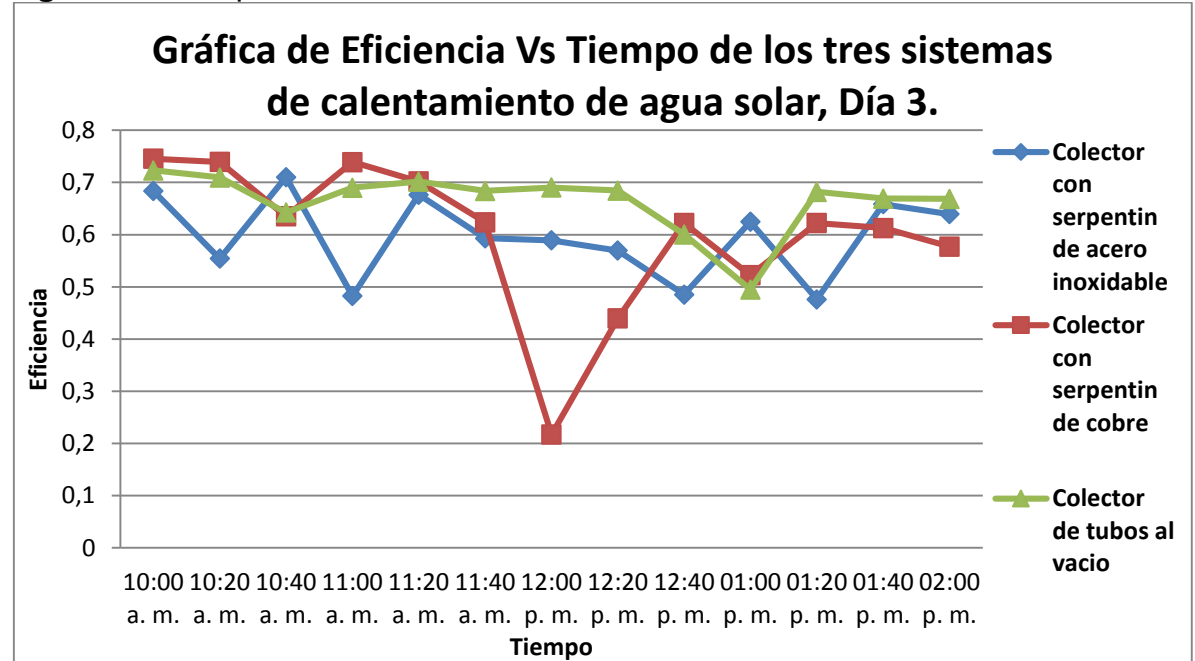
Fuente: autores del proyecto.

**Figura 35.** Comparación de las temperaturas de salida de las diferentes conexiones, segundo día.



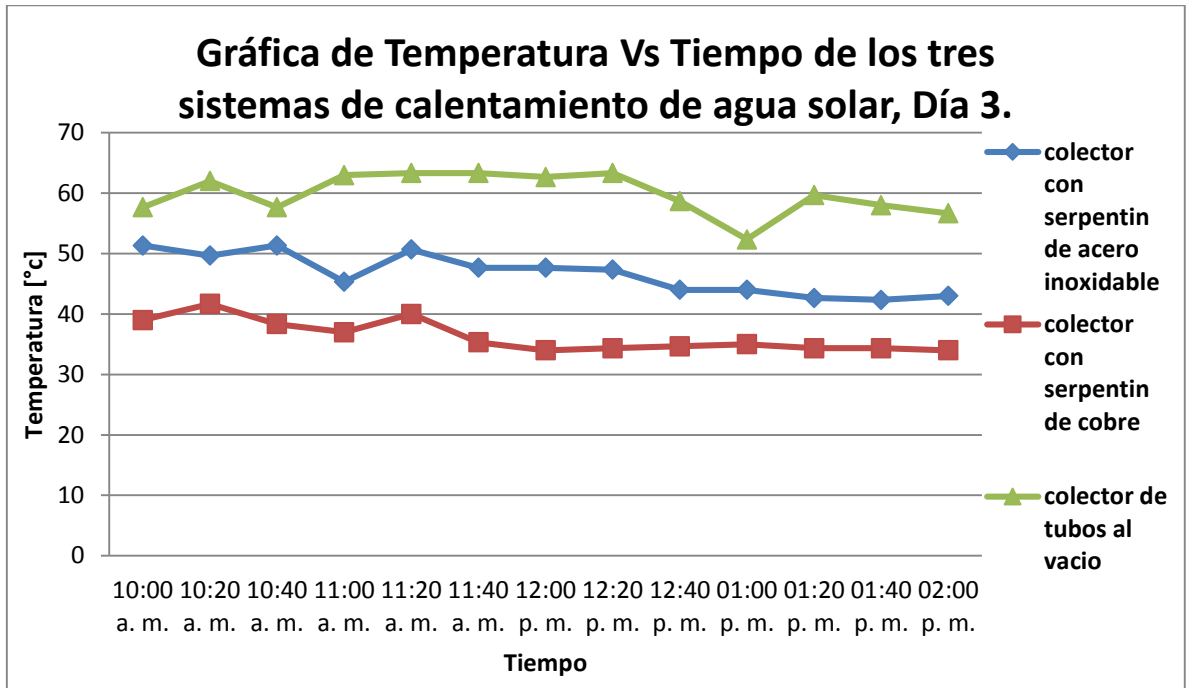
Fuente: autores del proyecto.

**Figura 36.** Comparación de las eficiencias de las diferentes conexiones, tercer día.



Fuente: autores del proyecto.

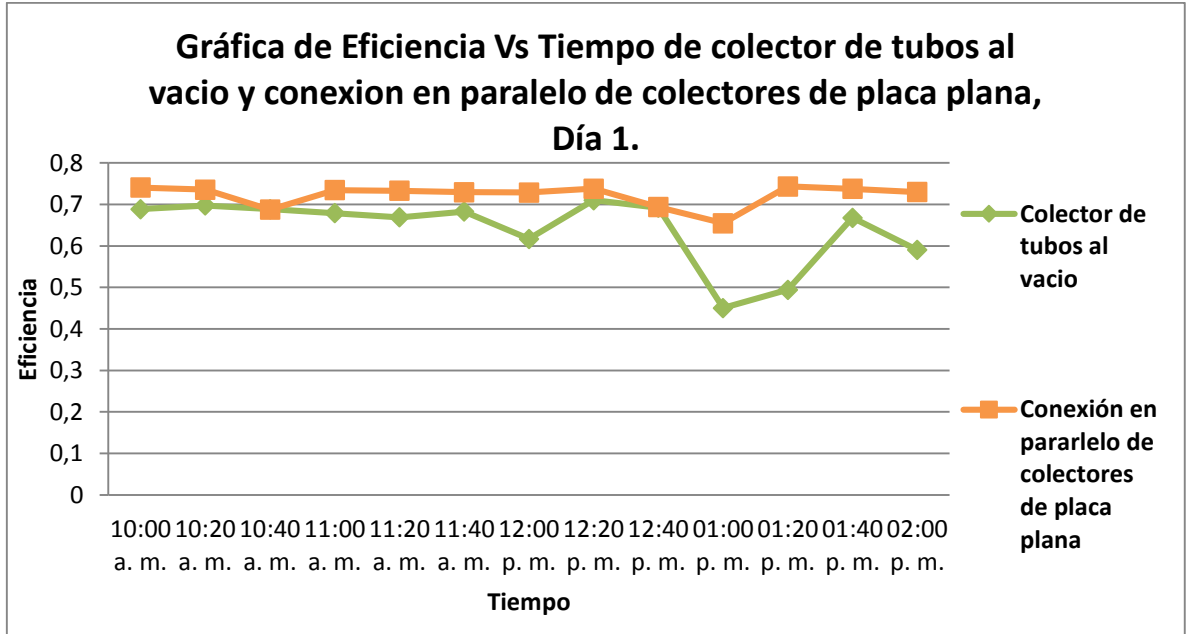
**Figura 37.** Comparación de las temperaturas de salida de las diferentes conexiones, tercer día.



**Fuente:** autores del proyecto.

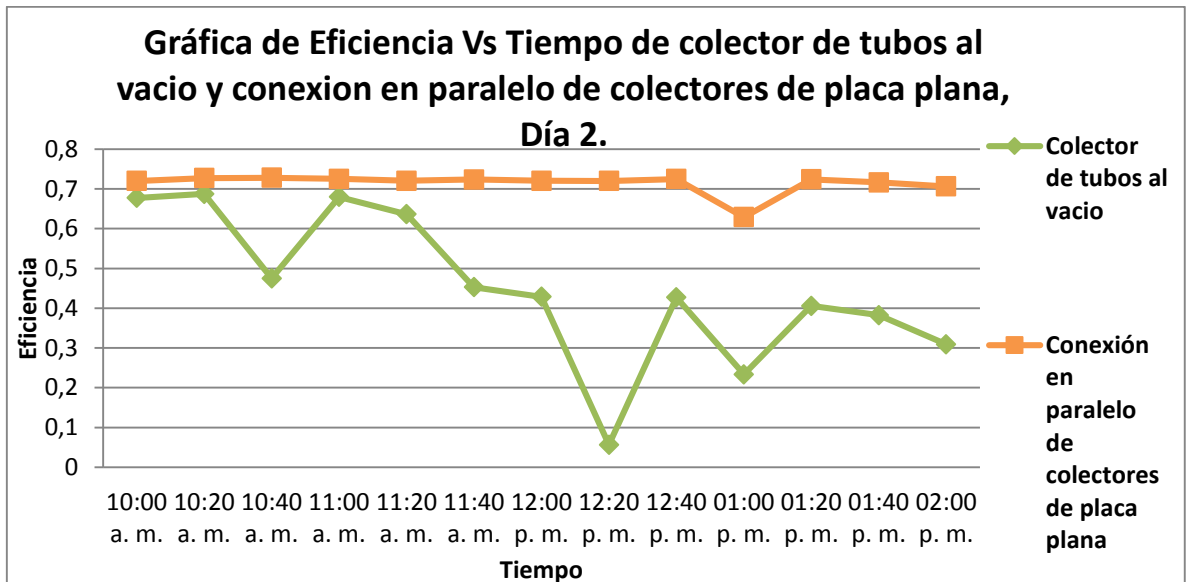
Al igual que las comparaciones anteriores de las curvas de desempeño y de temperatura de cada colector, realizamos unas graficas por día de comparación de eficiencias entre un arreglo en paralelo de los dos colectores de placa plana y el colector de tubos al vacío, con el fin de determinar cuál de estos dos sistemas es más eficaz. En las (Figuras 38-40) se muestra una comparación por día, de las eficiencias resultantes de cada prueba alcanzando una eficiencia máxima de 74,34%, el primer día de pruebas, a las 1:20 a.m. correspondiente a la conexión en paralelo de los colectores de placa plana.

**Figura 38.** Comparación de las eficiencias del colector de tubos al vacío y conexión en paralelo de los colectores de placa plana, primer día.



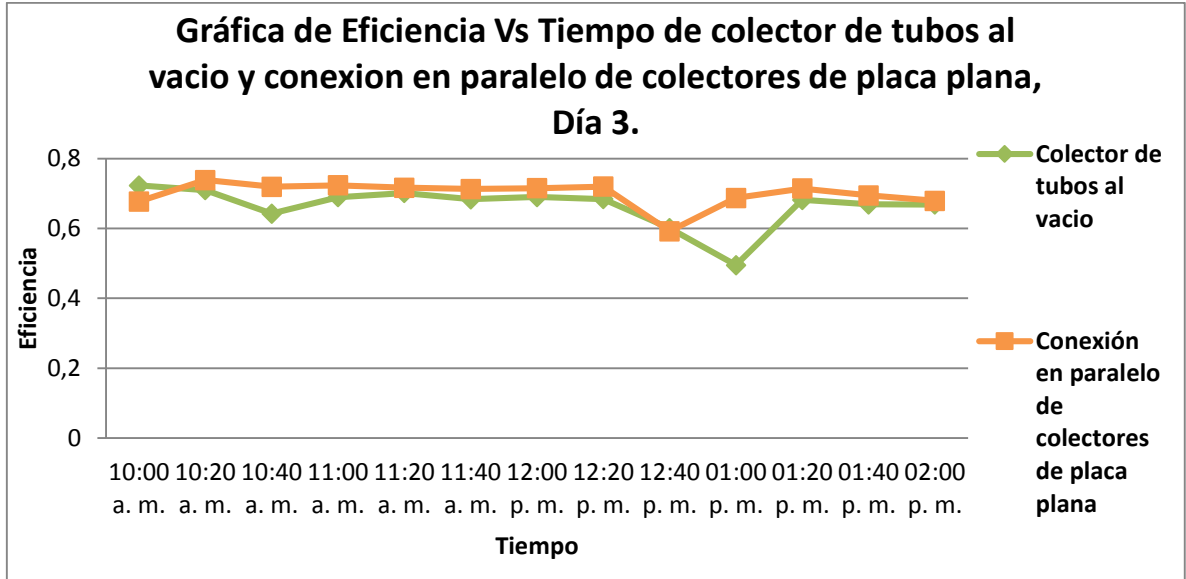
Fuente: autores del proyecto.

**Figura 39.** Comparación de las eficiencias del colector de tubos al vacío y conexión en paralelo de los colectores de placa plana, segundo día.



Fuente: autores del proyecto.

**Figura 40.** Comparación de las eficiencias del colector de tubos al vacío y conexión en paralelo de los colectores de placa plana, tercer día.



Fuente: autores del proyecto.

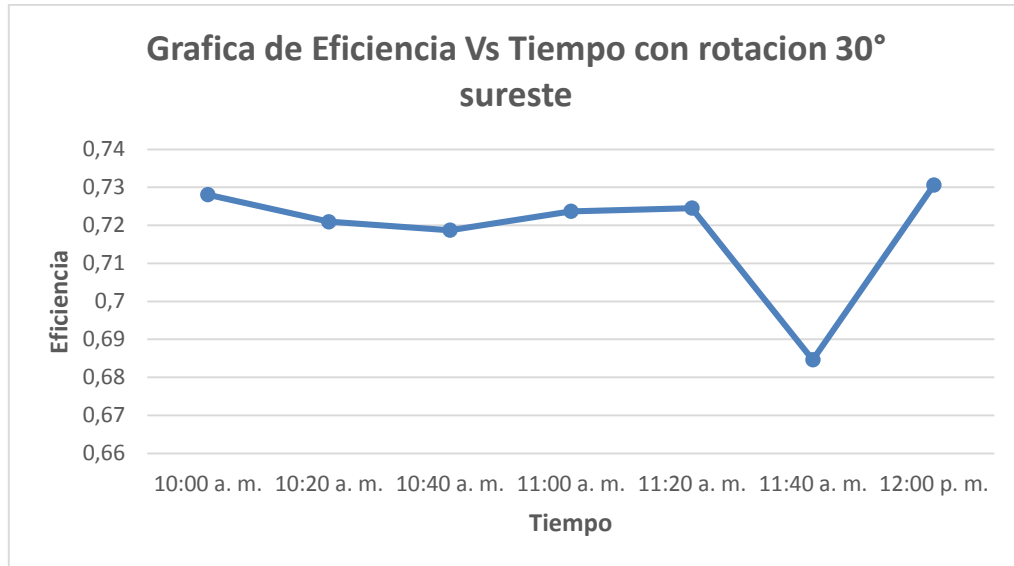
#### 4.3.5. PRUEBAS CAMBIANDO EL ÁNGULO DE ORIENTACIÓN

Adicionalmente se realizaron pruebas de desempeño variando el ángulo de orientación a cada colector. Se rotaron a 30° y 60° sureste, con el fin de observar que tan eficiente es un colector con relación al otro. Las pruebas se realizaron en periodos de 2 horas tomando los datos en lapsos de 20 minutos entre sí.

En las (figuras 41-46) se presentan las curvas de eficiencia vs tiempo de cada colector a 30° y 60° sureste, alcanzando una eficiencia máxima para la rotación a 30° sureste de 74,4%, a la 1:40 p.m. correspondiente al colector con serpentín de cobre y una eficiencia máxima para la rotación a 60° sureste de 75,6%, a las 1:20 p.m. correspondiente al colector con serpentín de cobre.

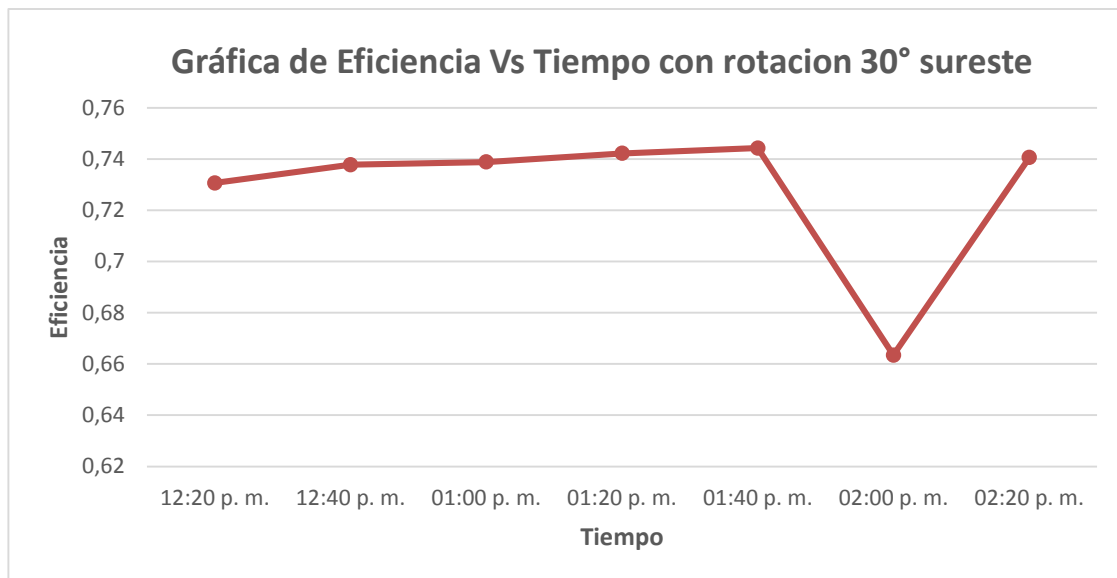


**Figura 41.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable con rotación 30° sureste.



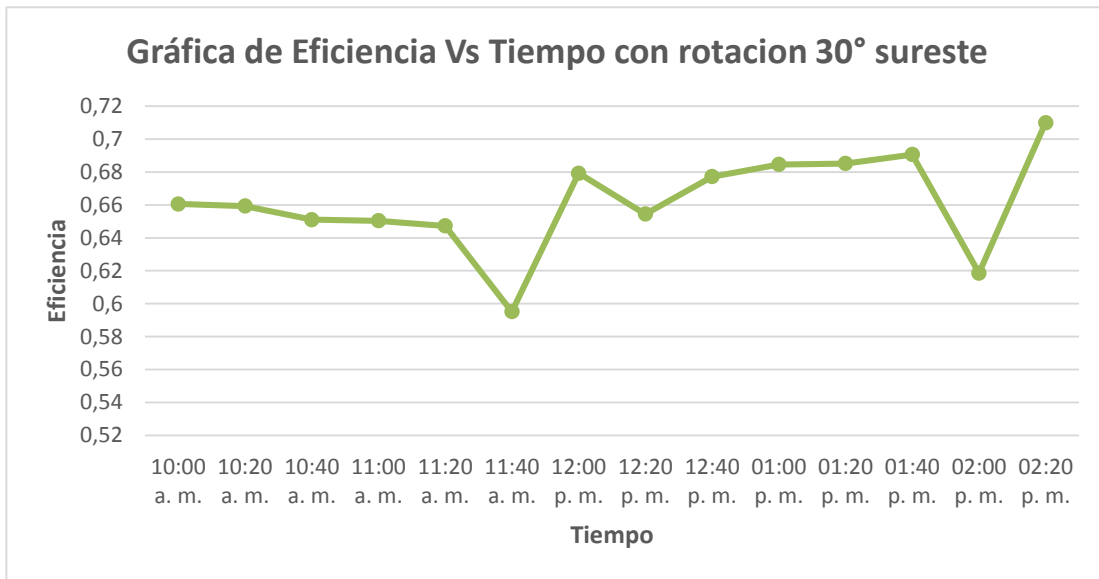
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 42.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de cobre con rotación 30° sureste.



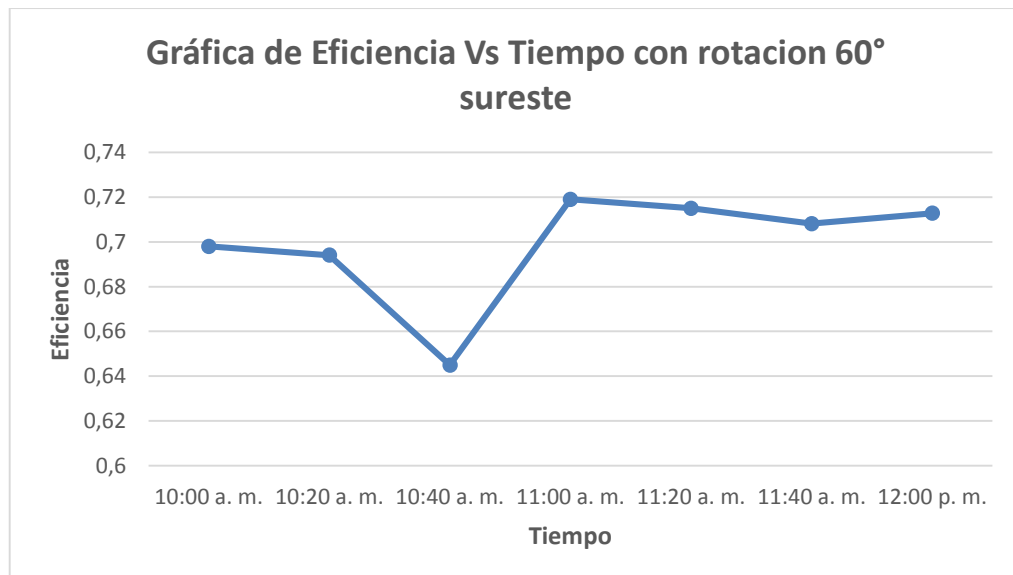
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 43.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector de tubos al vacío con rotación 30° sureste.



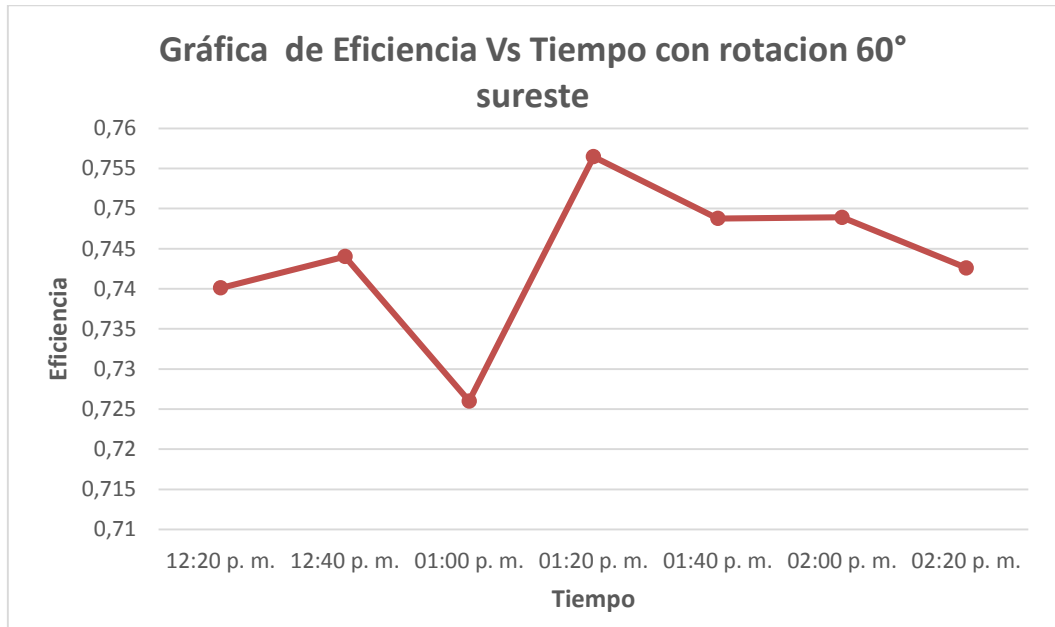
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 44.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de acero inoxidable con rotación 60° sureste.



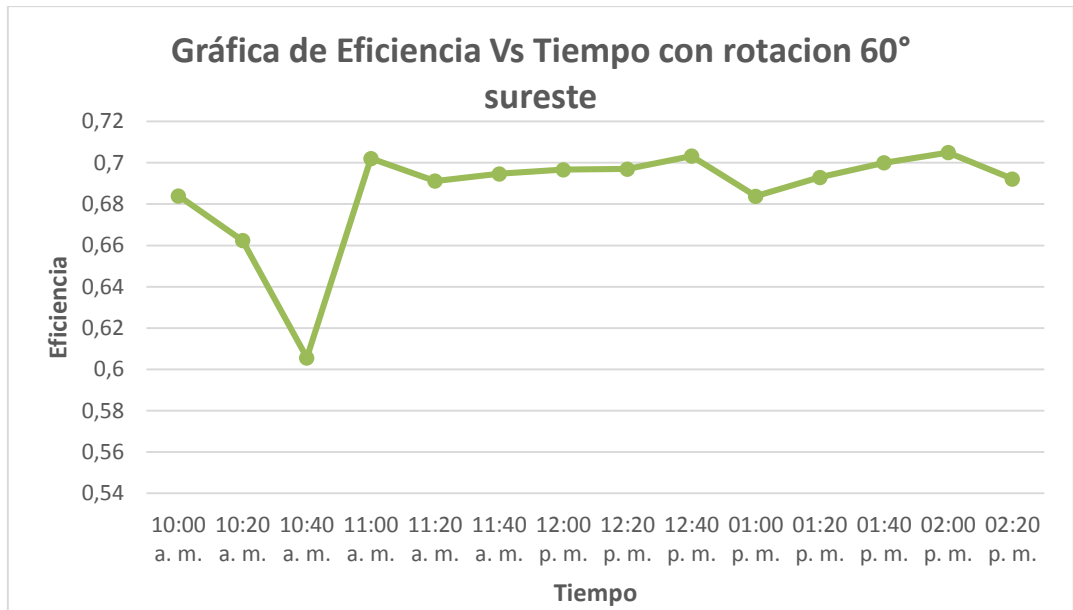
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 45.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de cobre con rotación 60° sureste.



**Fuente:** autores del proyecto.

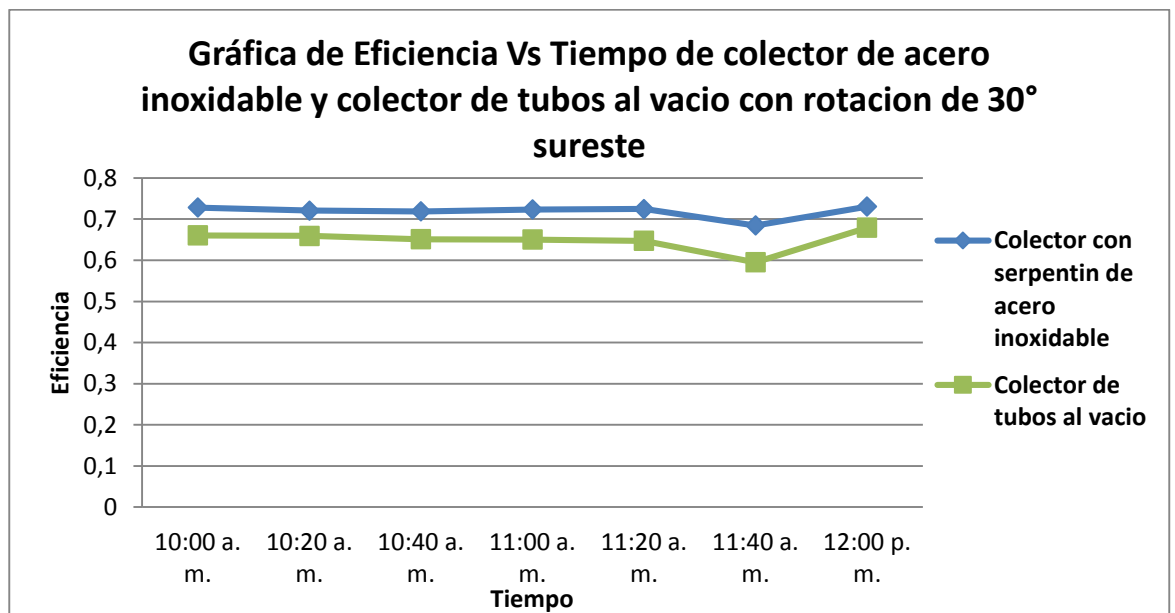
**Figura 46.** Curva de eficiencia vs tiempo del colector con serpentín de cobre con rotación 60° sureste.



**Fuente:** autores del proyecto.

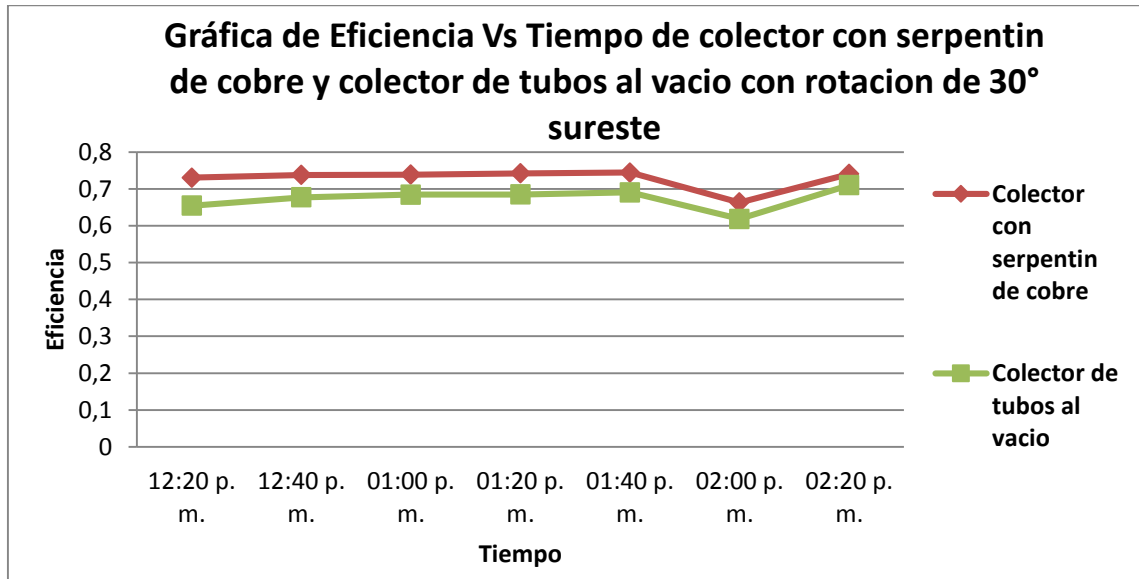
Después de realizar las curvas de desempeño para cada colector, se procedió a comparar las curvas de eficiencia vs tiempo para determinar qué sistema se ve menos afectado por la incidencia del sol, cambiando los ángulos de orientación a 30° y 60° sureste. En las (figuras 47-50) se presenta una comparación entre los colectores de placa plana y el calentador de tubos al vacío con ambos ángulos, siendo las máximas eficiencias para la rotación de 30° sureste 73,1% y 74,4%, a las 12:00 p.m. y 1:40 p.m. respectivamente, correspondiente a los colectores con serpentín de acero inoxidable y con serpentín de cobre; y para la rotación de 60° sureste 71,9% y 75,6%, a las 11:00 a.m. y 1:20 p.m. respectivamente, correspondiente a los colectores con serpentín de acero inoxidable y con serpentín de cobre.

**Figura 47.** Comparación de las eficiencias del colector con serpentín de acero inoxidable y del colector de tubos al vacío con rotación de 30° sureste.



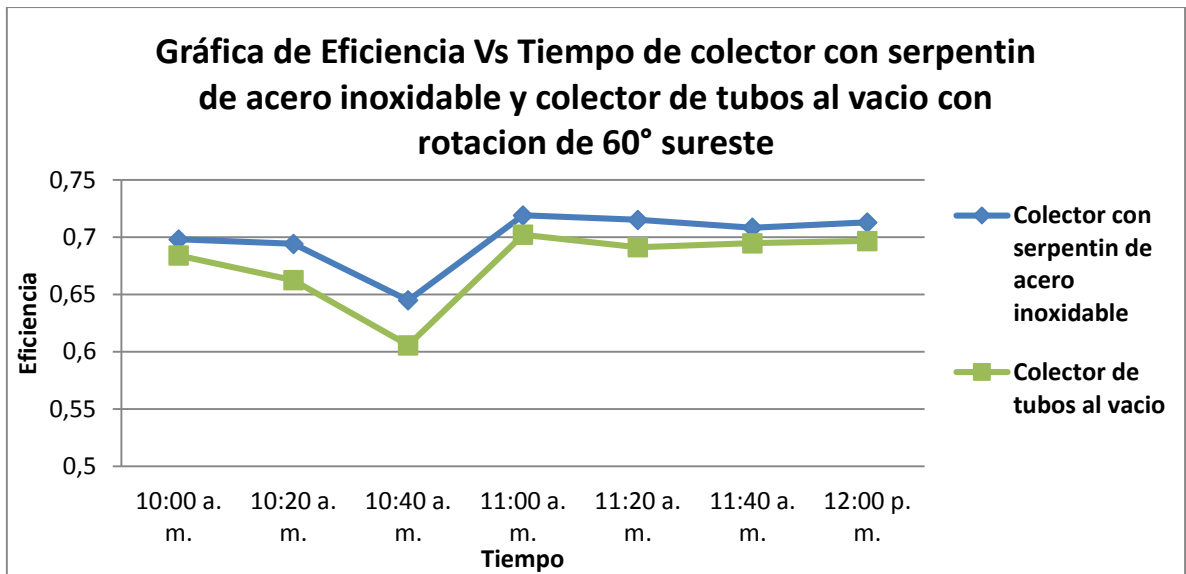
**Fuente:** autores del proyecto.

**Figura 48.** Comparación de las eficiencias del colector con serpentín de cobre y del colector de tubos al vacío con rotación de 30° sureste.



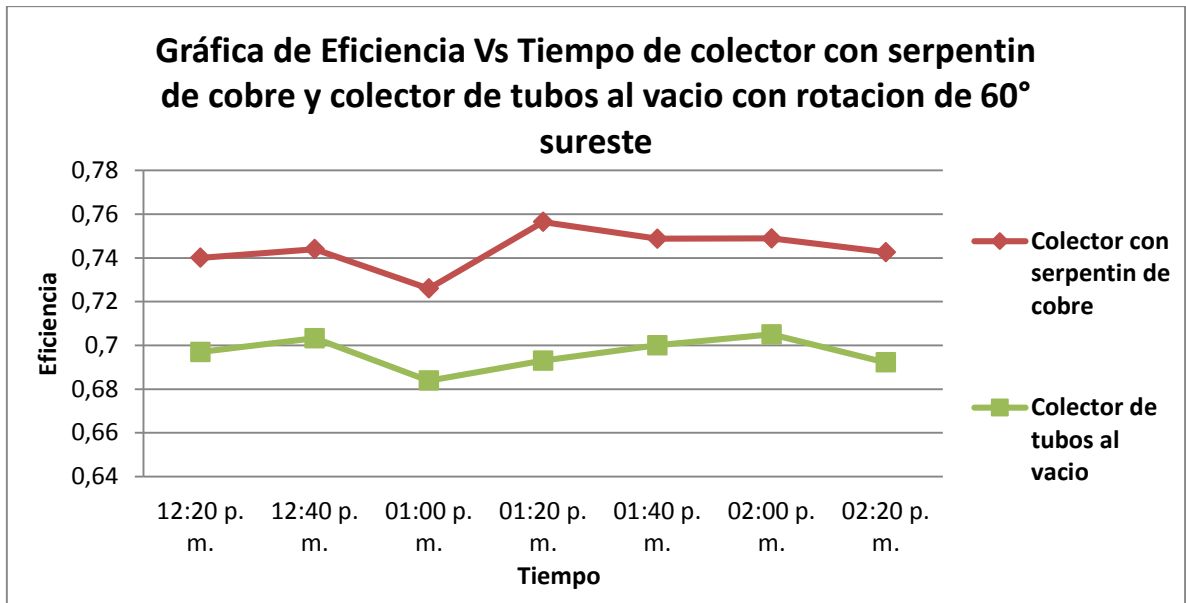
Fuente: autores del proyecto.

**Figura 49.** Comparación de las eficiencias del colector con serpentín de acero inoxidable y del colector de tubos al vacío con rotación de 60° sureste.



Fuente: autores del proyecto.

**Figura 50.** Comparación de las eficiencias del colector con serpentín de cobre y del colector de tubos al vacío con rotación de 60° sureste.



Fuente: autores del proyecto.

## 5. CONCLUSIONES

- Se implementó el sistema de calentamiento solar de agua, de dos colectores de placa plana, dando como resultado colectores de placa plana con serpentín de diferente material, uno con serpentín de cobre y el otro con serpentín de acero inoxidable.
- La máxima eficiencia para el colector con serpentín de acero inoxidable fue de  $71.58\% \pm 0.0099\%$ , de  $76.31\% \pm 0.0003\%$  para el colector con serpentín de cobre y de  $72.33\% \pm 0.0063\%$  correspondiente al colector de tubos al vacío.

Además se logró que los colectores de placa plana conectados en paralelo alcanzarán una eficiencia de  $74.34 \%_{\pm 0.0018 \%}$ .

- Enfocados en las temperaturas de salida que se obtuvieron durante las pruebas, cada sistema de manera independiente logró una temperatura de servicio de  $55^{\circ}\text{C}_{\pm 0 \%}$ ,  $41.67^{\circ}\text{C}_{\pm 1.453 \%}$  y  $62.67^{\circ}\text{C}_{\pm 1.453 \%}$ , para el colector con serpentín de acero inoxidable, colector con serpentín de cobre y el colector de tubos al vacío respectivamente, evidenciando un mayor gradiente en las temperaturas de entrada y salida en el colector de tubos al vacío.
- De acuerdo a la comparación que se realizó entre los colectores de placa plana con el colector de tubos al vacío, se pudo determinar que el arreglo en paralelo de los colectores de placa plana resultó más eficiente.
- Teniendo en cuenta las condiciones de trabajo, eficiencia y las temperaturas alcanzadas de cada sistema se pudo determinar que el colector de tubos al vacío es el sistema de calentamiento de agua más eficaz, donde se lograron mayores temperaturas de servicio de agua caliente, alcanzando una máxima de  $62.67^{\circ}\text{C}$ .
- Se observó un mayor rendimiento en el colector de placa plana con serpentín de cobre, cuando se les cambia el ángulo de orientación, la máxima eficiencia fue de  $74.42 \%_{\pm 0.0001 \%}$  para  $30^{\circ}$  y  $75.65 \%_{\pm 0.0042 \%}$  para  $60^{\circ}$ .

## 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda calibrar los equipos de mediciones y cambiar las termocuplas con frecuencia para una toma acertada de datos. Se debe verificar que el tanque del sistema de los colectores de placa plana este lleno en su totalidad. En el caso del colector de tubos al vacío se deben mantener las válvulas, de suministro de agua a la red y de servicio de agua caliente totalmente abiertas.
- Debido a que en el colector de tubos al vacío el agua puede llegar a temperaturas muy altas (aproximadamente 90°C) cuando las condiciones de trabajo son óptimas, se debe instalar una válvula mezcladora en el punto de servicio de suministro de agua caliente, para garantizar que no se envíe agua más de 50°C.



- En caso de utilizar el agua almacenada en termo tanque del colector de tubos al vacío, no llenar el sistema con agua si los tubos de vacío han estado expuestos al sol por más de 20 minutos, estos podrían quebrarse debido al choque térmico. Se recomienda llenar el sistema por la mañana o al atardecer.

## ANEXOS

### A. ANEXO: TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS.

#### A1. TABLA DE DATOS COLECTOR CON SEPENTÍN DE ACERO INOXIDABLE DÍA 1.

Fecha:	06/02/2015				
Hora	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$T_t$ [°C]	$T_a$ [°C]	H [w/m <sup>2</sup> ]
10:00 a.m.	35	37	38	26	595
10:01 a.m.	35	38	37	26	605
10:02 a.m.	35	39	38	26	513
10:20 a.m.	35	45	37	26	547
10:21 a.m.	35	46	37	26	542
10:22 a.m.	36	46	37	26	545
10:40 a.m.	36	48	37	26	744
10:41 a.m.	35	49	38	26	670
10:42 a.m.	35	49	37	26	570
11:00 a.m.	35	50	38	26	1007
11:01 a.m.	35	50	38	26	999
11:02 a.m.	35	50	38	26	945
11:20 a.m.	36	44	40	26	610
11:21 a.m.	35	41	39	26	581

11:22 a.m.	35	40	39	26	478
11:40 a.m.	34	36	35	24	161
11:41 a.m.	33	35	35	24	176
11:42 a.m.	33	36	35	24	154
12:00 p.m.	33	35	36	24	112
12:01 p.m.	33	34	35	24	108
12:02 p.m.	33	35	35	24	105
12:20 p.m.	33	35	35	24	106
12:21 p.m.	31	34	34	24	98
12:22 p.m.	31	34	34	24	97
12:40 p.m.	33	35	36	24	318
12:41 p.m.	33	34	35	24	305
12:42 p.m.	33	33	35	24	337
1:00 p.m.	34	35	36	24	382
1:01 p.m.	34	35	36	24	370
1:02 p.m.	34	36	36	24	394
1:20 p.m.	34	37	35	24	482
1:21 p.m.	34	37	35	24	492
1:22 p.m.	34	38	35	24	485
1:40 p.m.	34	35	36	24	335
1:41 p.m.	34	35	36	24	364
1:42 p.m.	34	36	36	24	369
2:00 p.m.	34	37	35	24	259
2:01 p.m.	34	36	35	24	264
2:02 p.m.	34	36	35	24	274

**Tabla A1.** Datos del colector con serpentín de acero inoxidable día 1.

**A1.1. TABLA DE CÁLCULOS DEL COLECTOR CON SERPENTÍN DE ACERO INOXIDABLE DÍA 1.**

#	Hora	T <sub>e</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>a</sub>	H	X	$\eta$
1	10:00a.m.	35	37	36	26	595	0,0168	0,7157
2	10:01a.m.	35	38	36,5	26	605	0,0173	0,7120
3	10:02a.m.	35	39	37	26	513	0,0214	0,6842
Promedio		35	38	38.25	26	571	0,0255	0,7040
$\sigma$		0	1	0,5	0	50,4778	0,0025	0,0172
%e		0	0,577	0,289	0	29,143	0,0015	0,0099
1	10:20a.m.	35	45	40	26	547	0,0255	0,7157
2	10:21a.m.	35	46	40,5	26	542	0,0267	0,7120
3	10:22a.m.	36	46	41	26	545	0,0275	0,6842
Promedio		35,333	45,667	40,5	26	544,667	0,0266	0,6490
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	2,517	0,0010	0,0066

	%e	0,333	0,333	0,289	0	1,453	0,0006	0,0038
1	10:40a.m.	36	48	42	26	744	0,0215	0,6838
2	10:41a.m.	35	49	42	26	670	0,0239	0,6676
3	10:42a.m.	35	49	42	26	570	0,0281	0,6391
Promedio		35,333	48,667	42	26	661,333	0,0245	0,6635
$\sigma$		0,577	0,577	0	0	87,323	0,0033	0,0040
%e		0,333	0,333	0	0	50,416	0,0019	0,0130
1	11:00a.m.	35	50	42,5	26	1007	0,0164	0,7186
2	11:01a.m.	35	50	42,5	26	999	0,0165	0,7177
3	11:02a.m.	35	50	42,5	26	945	0,0175	0,7113
Promedio		35	50	42,5	26	983,666	0,0168	0,7159
$\sigma$		0	0	0	0	33,72	0,0006	0,0040
%e		0	0	0	0	19,471	0,0003	0,0023
1	11:20a.m.	36	44	40	26	610	0,0229	0,6739
2	11:21a.m.	35	41	38	26	581	0,0206	0,6895
3	11:22a.m.	35	40	37,5	26	478	0,240	0,6664
Promedio		35,333	41,666	38,5	26	566,333	0,0225	0,6766
$\sigma$		0,577	2,082	1,323	0	69,371	0,0017	0,0118
%e		0,333	1,202	0,769	0	40,051	0,0010	0,0068
1	11:40a.m.	34	36	35	26	161	0,0683	0,3654
2	11:41a.m.	33	35	34	26	176	0,0568	0,4436
3	11:42a.m.	33	36	34,5	26	154	0,0682	0,3663
Promedio		33,333	35,666	34,5	26	163,67	0,0644	0,3918
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	11,240	0,0066	0,449
%e		0,333	0,333	0,289	0	6,489	0,0038	0,0259
1	12:00p.m.	33	35	34	26	112	0,0893	0,2228
2	12:01p.m.	33	34	33,5	26	108	0,0880	0,2218
3	12:02p.m.	33	35	34	26	105	0,0952	0,1824
Promedio		33	34,666	33,833	26	108,33	0,0908	0,2124
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	3,512	0,0039	0,0263
%e		0	0,333	1,667	0	2,028	0,0022	0,0152
1	12:20p.m.	33	35	34	26	106	0,0943	0,1885
2	12:21p.m.	31	34	32,5	26	98	0,0847	0,2402
3	12:22p.m.	31	34	32,5	26	97	0,0876	0,2341
Promedio		31,666	34,333	33	26	100,333	0,0896	0,2209
$\sigma$		1,155	0,577	0,866	0	4,933	0,0041	0,0283
%e		0,667	0,333	0,5	0	2,848	0,0024	0,0163

1	12:40p.m.	33	35	34	26	318	0,0314	0,6162
2	12:41p.m.	33	34	33,5	26	305	0,0311	0,6182
3	12:42p.m.	33	33	33	26	337	0,0267	0,6484
Promedio		33,	34	33,5	26	320	0,0298	0,6276
$\sigma$		0	1	0,5	0	16,093	0,0026	0,0180
%e		0	0,577	0,289	0	9,292	0,0015	0,0104
1	1:00p.m.	34	35	34,5	26	382	0,0275	0,6431
2	1:01p.m.	34	35	34,5	26	370	0,0284	0,6370
3	1:02p.m.	34	36	35	26	394	0,0279	0,6401
Promedio		34	35,333	34,666	26	382	0,0279	0,6401
$\sigma$		0	0,5773	0,2887	0	12	0,0004	0,0030
%e		0	0,333	0,166	0	2,963	0,0002	0,0017
1	1:20p.m.	34	37	35,5	26	482	0,0238	0,6677
2	1:21p.m.	34	37	35,5	26	492	0,0234	0,6710
3	1:22p.m.	34	38	36	26	485	0,0247	0,6617
Promedio		34	37,333	35,666	26	486,333	0,0240	0,6668
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	5,137	0,0007	0,0047
%e		0	0,333	0,166	0	2,963	0,0007	0,0049
1	1:40p.m.	34	35	34,5	26	335	0,0313	0,6169
2	1:41p.m.	34	35	34,5	26	364	0,0288	0,6338
3	1:42p.m.	34	36	35	26	369	0,0298	0,6273
Promedio		34	36	34,666	26	356	0,0210	0,6260
$\sigma$		0	0,5773	0,289	0	18,357	0,0012	0,0085
%e		0	0,3333	0,017	0	10,599	0,0007	0,0049
1	2:00p.m.	34	37	35,5	26	259	0,0444	0,5281
2	2:01p.m.	34	36	35	26	264	0,0416	0,5467
3	2:02p.m.	34	36	35	26	274	0,0401	0,5570
Promedio		34	36,333	35,166	26	265,666	0,0421	0,5439
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	7,6376	0,0021	0,0147
%e		0	0,333	0,167	0	4,4096	0,0012	0,0085

## A2. TABLA DE DATOS COLECTOR CON SERPENTÍN DE ACERO INOXIDABLE DÍA 2.

Fecha:	07/02/2015				
Hora	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$T_t$ [°C]	$T_a$ [°C]	H [w/m <sup>2</sup> ]

10:00 a.m.	33	49	40	27	753
10:01 a.m.	33	49	40	27	742
10:02 a.m.	33	49	39	27	747
10:20 a.m.	34	52	38	27	771
10:21 a.m.	35	52	38	27	795
10:22 a.m.	34	53	39	27	799
10:40 a.m.	35	54	41	27	853
10:41 a.m.	35	54	41	27	856
10:42 a.m.	35	54	40	27	854
11:00 a.m.	35	53	39	27	430
11:01 a.m.	35	54	38	27	467
11:02 a.m.	35	54	40	27	453
11:20 a.m.	35	53	39	27	725
11:21 a.m.	35	53	38	27	981
11:22 a.m.	35	54	38	27	1025
11:40 a.m.	36	54	40	27	818
11:41 a.m.	36	54	39	27	820
11:42 a.m.	36	55	38	2	820
12:00 p.m.	36	54	40	27	831
12:01 p.m.	36	55	41	27	821
12:02 p.m.	36	54	39	27	801
12:20 p.m.	36	54	42	27	778
12:21 p.m.	36	53	42	27	781
12:22 p.m.	36	53	41	27	775
12:40 p.m.	36	53	40	27	784
12:41 p.m.	36	53	39	27	768
12:42 p.m.	36	54	40	27	778
1:00 p.m.	36	55	41	27	815
1:01 p.m.	36	54	42	27	803
1:02 p.m.	37	55	42	27	804
1:20 p.m.	37	55	39	27	817
1:21 p.m.	37	55	40	27	814
1:22 p.m.	37	55	38	27	813
1:40 p.m.	37	53	38	27	694
1:41 p.m.	37	53	38	27	660
1:42 p.m.	37	52	39	27	886
2:00 p.m.	36	41	38	27	193
2:01 p.m.	36	41	39	27	198
2:02 p.m.	35	40	39	27	203

**Tabla A2.** Datos del colector con serpentín de acero inoxidable día 2.

**A2.1. TABLA DE CÁLCULOS DEL COLECTOR CON SERPENTÍN DE ACERO INOXIDABLE DÍA 2.**

#	Hora	T <sub>e</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>a</sub>	H	X	$\eta$
1	10:00a.m.	33	49	41	27	753	0,0186	0,7036
2	10:01a.m.	33	49	41	27	742	0,0189	0,7017
3	10:02a.m.	33	49	41	27	747	0,0187	0,7025
Promedio		33	49	41	27	747,333	0,0187	0,7026
$\sigma$		0	0	0	0	5,507	0,0001	0,0009
%e		0	0	0	0	3,180	0,00007	0,0005
1	10:20a.m.	34	52	43	27	771	0,0207	0,6889
2	10:21a.m.	35	52	43,5	27	795	0,0207	0,6889
3	10:22a.m.	34	53	43,5	27	799	0,0206	0,6896
Promedio		34,333	52,333	43,333	27	788,333	0,0207	0,6891
$\sigma$		0,577	0,577	0,289	0	15,144	0,00006	0,0004
%e		0,333	0,333	0,167	0	8,743	0,00003	0,0002
1	10:40a.m.	35	54	44,5	27	853	0,0205	0,6905
2	10:41a.m.	35	54	44,5	27	856	0,0204	0,6910
3	10:42a.m.	35	54	44,5	27	854	0,0205	0,6906
Promedio		35	54	44,5	27	854,333	0,0205	0,6907
$\sigma$		0	0	0	0	1,527	0,00004	0,0002
%e		0	0	0	0	0,882	0,00002	0,0001
1	11:00a.m.	35	53	44	27	430	0,0395	0,5612
2	11:01a.m.	35	54	45,5	27	467	0,0375	0,5752
3	11:02a.m.	35	54	45,5	27	453	0,0386	0,5673
Promedio		35	53,667	43,333	27	450	0,0385	0,5679
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	18,681	0,0010	0,0070
%e		0	0,333	0,167	0	10,785	0,0006	0,0040
1	11:20a.m.	35	53	44	27	725	0,0234	0,6705
2	11:21a.m.	35	53	44	27	981	0,0173	0,7122
3	11:22a.m.	35	54	44,5	27	1025	0,0171	0,7139
Promedio		35	53,333	44,167	27	910,333	0,0193	0,6989
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	162,004	0,0036	0,0245
%e		0	0,333	0,167	0	93,533	0,0021	0,0142
1	11:40a.m.	36	54	45	27	818	0,0220	0,6804
2	11:41a.m.	36	54	45	27	820	0,0219	0,6807
3	11:42a.m.	36	55	45,5	27	820	0,0226	0,6766
Promedio		36	54,333	45,167	27	819,333	0,0222	0,6792
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	1,155	0,0003	0,0023
%e		0	0,333	0,167	0	0,667	0,0002	0,0013

1	12:00p.m.	36	54	45	27	831	0,0217	0,6827
2	12:01p.m.	36	55	45,5	27	821	0,0225	0,6768
3	12:02p.m.	36	54	45	27	801	0,0225	0,6772
Promedio		36	62,333	49,167	27	817,667	0,0222	0,6789
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	15,275	0,0005	0,0033
%e		0	0,333	0,164	0	8,819	0,0003	0,0020
1	12:20p.m.	36	54	45	27	778	0,0231	0,6727
2	12:21p.m.	36	53	44,5	27	781	0,0224	0,6776
3	12:22p.m.	36	53	44,5	27	775	0,0226	0,6764
Promedio		36	57,333	46,667	27	778	0,0227	0,6581
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	3	0,0004	0,0026
%e		0	0,333	0,167	0	1,732	0,0002	0,0015
1	12:40p.m.	36	53	44,5	27	784	0,0223	0,6782
2	12:41p.m.	36	53	44,5	27	768	0,0228	0,6750
3	12:42p.m.	36	54	45	27	778	0,0231	0,6727
Promedio		36	55,333	45,667	27	776,667	0,0227	0,6753
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	8,083	0,0004	0,0028
%e		0	0,333	0,167	0	4,667	0,0002	0,0016
1	1:00p.m.	36	55	45,5	27	815	0,0227	0,6756
2	1:01p.m.	36	54	45	27	803	0,0224	0,6776
3	1:02p.m.	37	55	46	27	804	0,0236	0,6693
Promedio		36,333	60,667	48,5	27	807,333	0,0229	0,6742
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	6,658	0,0006	0,0043
%e		0,333	0,333	0,289	0	3,844	0,0004	0,0025
1	1:20p.m.	37	55	46	27	817	0,0232	0,6719
2	1:21p.m.	37	55	46	27	814	0,0233	0,6713
3	1:22p.m.	37	55	46	27	813	0,0234	0,6711
Promedio		37	55	46	27	814,667	0,0233	0,6714
$\sigma$		0	0	0	0	2,082	0,00006	0,0004
%e		0	0	0	0	1,202	0,00003	0,0002
1	1:40p.m.	37	53	45	27	694	0,0259	0,6536
2	1:41p.m.	37	53	45	27	660	0,0272	0,6445
3	1:42p.m.	37	52	44,5	27	886	0,0197	0,6957
Promedio		37	52,667	44,833	27	746,667	0,0243	0,6646
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	121,857	0,0040	0,0273
%e		0	0,333	0,167	0	70,355	0,0023	0,0157
1	2:00p.m.	36	41	38,5	27	193	0,0595	0,4248

2	2:01p.m.	36	41	38,5	27	198	0,0581	0,4350
3	2:02p.m.	35	40	37,5	27	203	0,0517	0,4783
Promedio		35,667	40,667	38,167	27	198	0,0565	0,4460
$\sigma$		0,577	0,577	0,577	0	5	0,0041	0,0284
%e		0,333	0,333	0,333	0	2,887	0,0024	0,0164

### A3. TABLA DE DATOS COLECTOR CON SERPENTÍN DE ACERO INOXIDABLE DÍA 3.

Fecha:	09/02/2015				
Hora	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$T_t$ [°C]	$T_a$ [°C]	H [w/m <sup>2</sup> ]
10:00 a.m.	33	50	39	27	831
10:01 a.m.	33	52	40	27	849
10:02 a.m.	33	52	40	27	536
10:20 a.m.	34	51	38	27	546
10:21 a.m.	34	49	37	27	349
10:22 a.m.	34	49	38	27	280
10:40 a.m.	35	53	39	27	1010
10:41 a.m.	35	51	39	27	811
10:42 a.m.	35	50	40	27	954
11:00 a.m.	34	45	38	27	230
11:01 a.m.	34	45	40	27	256
11:02 a.m.	34	46	40	27	259
11:20 a.m.	34	49	39	27	545
11:21 a.m.	34	51	38	27	704
11:22 a.m.	34	52	38	27	837
11:40 a.m.	34	47	37	27	399
11:41 a.m.	34	47	38	27	381
11:42 a.m.	34	49	38	27	412
12:00 p.m.	33	48	37	27	385
12:01 p.m.	33	47	40	27	375
12:02 p.m.	33	48	40	27	370
12:20 p.m.	33	48	39	27	344
12:21 p.m.	33	47	39	27	347
12:22 p.m.	33	47	41	27	340
12:40 p.m.	33	44	37	27	207
12:41 p.m.	32	44	36	27	221
12:42 p.m.	32	44	38	27	235
1:00 p.m.	32	44	38	27	468
1:01 p.m.	32	44	38	27	338
1:02 p.m.	32	44	38	27	318



1:20 p.m.	32	43	37	27	250
1:21 p.m.	33	42	37	27	202
1:22 p.m.	32	43	38	27	169
1:40 p.m.	32	42	36	27	415
1:41 p.m.	32	43	36	27	406
1:42 p.m.	32	42	37	27	388
2:00 p.m.	32	43	38	27	477
2:01 p.m.	32	43	39	27	382
2:02 p.m.	32	43	39	27	303

**Tabla A3.** Datos del colector con serpentín de acero inoxidable día 3.

### A3.1. TABLA DE CÁLCULOS DEL COLECTOR CON SERPERTÍN DE ACERO INOXIDABLE DÍA 3.

#	Hora	T <sub>e</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>a</sub>	H	X	$\eta$
1	10:00a.m.	33	50	41,5	27	831	0,0174	0,7113
2	10:01a.m.	33	52	42,5	27	849	0,0182	0,7058
3	10:02a.m.	33	52	42,5	27	536	0,0289	0,6336
Promedio		33	51,333	42,167	27	738,667	0,0215	0,6835
$\sigma$		0	1,155	0,577	0	175,745	0,0064	0,0435
%e		0	0,667	0,333	0	101,466	0,0037	0,0251
1	10:20a.m.	34	51	42,5	27	546	0,0284	0,6369
2	10:21a.m.	34	49	41,5	27	349	0,0415	0,5475
3	10:22a.m.	34	49	41,5	27	280	0,0518	0,4778
Promedio		34	49,667	41,833	27	391,667	0,0406	0,5541
$\sigma$		0	1,155	0,577	0	138,037	0,0117	0,0797
%e		0	0,667	0,333	0	79,696	0,0068	0,0460
1	10:40a.m.	35	53	44	27	1010	0,0168	0,7155
2	10:41a.m.	35	51	43	27	811	0,0197	0,6958
3	10:42a.m.	35	50	42,5	27	954	0,0162	0,7195
Promedio		35	51,333	43,167	27	925	0,0176	0,7103
$\sigma$		0	1,527	0,764	0	102,651	0,0019	0,0127
%e		0	0,882	0,441	0	59,248	0,0011	0,0073
1	11:00a.m.	34	45	39,5	27	230	0,0543	0,4604
2	11:01a.m.	34	45	39,5	27	256	0,0488	0,4980
3	11:02a.m.	34	46	40	27	259	0,0502	0,4887
Promedio		34	45,333	39,667	27	248,333	0,0511	0,4824
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	15,948	0,0029	0,0195
%e		0	0,333	0,167	0	9,207	0,0016	0,0113

1	11:20a.m.	34	49	41,5	27	545	0,0266	0,6491
2	11:21a.m.	34	51	42,5	27	704	0,0220	0,6803
3	11:22a.m.	34	52	43	27	837	0,0191	0,7000
Promedio		34	50,667	42,333	27	695,333	0,0226	0,6764
$\sigma$		0	1,527	0,764	0	146,333	0,0038	0,0258
%e		0	0,882	0,441	0	84,404	0,0022	0,0148
1	11:40a.m.	34	47	40,5	27	399	0,0338	0,5999
2	11:41a.m.	34	47	40,5	27	381	0,0354	0,5890
3	11:42a.m.	34	49	41,5	27	412	0,0352	0,5907
Promedio		34	47,667	40,833	27	397,333	0,0348	0,5932
$\sigma$		0	1,155	0,577	0	15,567	0,0009	0,0059
%e		0	0,667	0,333	0	8,988	0,0005	0,0034
1	12:00p.m.	33	48	40,5	27	385	0,0350	0,5915
2	12:01p.m.	33	47	40	27	375	0,0347	0,5943
3	12:02p.m.	33	48	40,5	27	370	0,0365	0,5819
Promedio		33	47,667	40,333	7	376,667	0,0354	0,5892
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	7,638	0,0009	0,0065
%e		0	0,333	0,167	0	4,409	0,0005	0,0037
1	12:20p.m.	33	48	40,5	27	344	0,0392	0,5631
2	12:21p.m.	33	47	40	27	347	0,0375	0,5752
3	12:22p.m.	33	47	40	27	340	0,0382	0,5700
Promedio		33	47,333	40,167	27	343,667	0,0383	0,5694
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	3,512	0,0009	0,0061
%e		0	0,333	0,167	0	2,028	0,0005	0,0035
1	12:40p.m.	33	44	38,5	27	207	0,0556	0,4522
2	12:41p.m.	32	44	38	27	221	0,0498	0,4915
3	12:42p.m.	32	44	38	27	235	0,0468	0,5117
Promedio		32,333	44	38,167	27	221	0,0507	0,4851
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	14	0,0044	0,0302
%e		0,333	0	0,167	0	8,083	0,0025	0,0175
1	1:00p.m.	32	44	38	27	468	0,0235	0,6702
2	1:01p.m.	32	44	38	27	338	0,0325	0,6087
3	1:02p.m.	32	44	38	27	318	0,0346	0,5948
Promedio		32	44	38	27	374,667	0,0302	0,6245
$\sigma$		0	0	0	0	81,445	0,0059	0,0401
%e		0	0	0	0	47,022	0,0034	0,0232
1	1:20p.m.	32	43	37,5	27	250	0,0420	0,5444

2	1:21p.m.	33	42	37,5	27	202	0,0520	0,4765
3	1:22p.m.	32	43	37,5	27	169	0,0621	0,4075
Promedio		32,333	42,667	37,5	27	207	0,0520	0,4761
$\sigma$		0,577	0,577	0	0	40,731	0,0101	0,0684
%e		0,333	0,333	0	0	23,515	0,0058	0,0395
1	1:40p.m.	32	42	37	27	415	0,0241	0,6661
2	1:41p.m.	32	43	37,5	27	406	0,0259	0,6541
3	1:42p.m.	32	42	37	27	388	0,0258	0,6547
Promedio		32	42,333	37,167	27	403	0,0252	0,6583
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	13,748	0,0010	0,0068
%e		0	0,333	0,167	0	7,937	0,0006	0,0039
1	2:00p.m.	32	43	37,5	27	477	0,0220	0,6803
2	2:01p.m.	32	43	37,5	27	382	0,0275	0,6431
3	2:02p.m.	32	43	37,5	27	303	0,0346	0,5943
Promedio		32	43	37,5	27	387,333	0,0280	0,6392
$\sigma$		0	0	0	0	87,122	0,0063	0,0431
%e		0	0	0	0	50,300	0,0036	0,0249

#### A4. TABLA DE DATOS COLECTOR CON SERPERTÍN DE COBRE DÍA 1.

Fecha:	12/02/2015				
Hora	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$T_t$ [°C]	$T_a$ [°C]	H [w/m <sup>2</sup> ]
10:00 a.m.	31	35	36	25	814
10:01 a.m.	31	35	37	25	806
10:02 a.m.	31	35	37	25	820
10:20 a.m.	31	34	36	25	444
10:21 a.m.	32	34	35	25	464
10:22 a.m.	32	36	36	25	860
10:40 a.m.	33	34	34	25	336
10:41 a.m.	33	34	34	25	262
10:42 a.m.	32	34	34	25	375
11:00 a.m.	34	35	36	25	314
11:01 a.m.	33	35	36	25	570
11:02 a.m.	33	35	36	25	755
11:20 a.m.	34	35	35	25	329
11:21 a.m.	34	34	35	25	324
11:22 a.m.	34	36	35	25	646
11:40 a.m.	33	36	35	25	645
11:41 a.m.	33	34	34	25	425
11:42 a.m.	34	35	35	25	426

12:00 p.m.	33	34	34	25	317
12:01 p.m.	33	34	35	25	215
12:02 p.m.	33	34	35	25	183
12:20 p.m.	33	35	34	25	519
12:21 p.m.	33	36	34	25	657
12:22 p.m.	33	34	34	25	439
12:40 p.m.	34	39	36	25	995
12:41 p.m.	34	39	36	25	929
12:42 p.m.	34	39	36	25	898
1:00 p.m.	34	40	35	25	892
1:01 p.m.	34	40	35	25	876
1:02 p.m.	33	38	35	25	223
1:20 p.m.	34	39	37	25	894
1:21 p.m.	34	39	37	25	865
1:22 p.m.	33	38	37	25	362
1:40 p.m.	34	37	36	25	775
1:41 p.m.	33	36	36	25	485
1:42 p.m.	34	36	36	25	741
2:00 p.m.	33	36	36	25	186
2:01 p.m.	33	35	36	25	202
2:02 p.m.	34	35	36	25	239

**Tabla A4.** Datos del colector con serpentín de cobre día 1.

#### **A4.1. TABLA DE CÁLCULOS COLECTOR CON SERPENTÍN DE COBRE DÍA 1.**

#	Hora	$T_e$	$T_s$	$T_m$	$T_a$	H	X	$\eta$
1	10:00a.m.	31	35	33	25	814	0,0098	0,7632
2	10:01a.m.	31	35	33	25	806	0,0099	0,7625
3	10:02a.m.	31	35	33	25	820	0,0097	0,7636
Promedio		31	35	33	25	813,333	0,0098	0,7631
$\sigma$		0	0	0	0	7,024	0,00008	0,0006
%e		0	0	0	0	4,055	0,00005	0,0003
1	10:20a.m.	31	34	32,5	25	444	0,0169	0,7151
2	10:21a.m.	32	34	33	25	464	0,0172	0,7127
3	10:22a.m.	32	36	34	25	860	0,0105	0,7589
Promedio		31,667	34,667	33,167	0	589,333	0,0149	0,7289
$\sigma$		0,577	1,155	0,764	0	234,617	0,0038	0,3333
%e		0,333	0,667	0,441		135,456	0,0022	0,0022
1	10:40a.m.	33	34	33,5	25	336	0,0253	0,0658
2	10:41a.m.	33	34	33	25	262	0,0302	0,6094
3	10:42a.m.	32	34	34	25	375	0,0213	0,6849

Promedio		32,667	34	33,333	25	324,333	0,0263	0,6508
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	57,396	0,0056	0,0383
%e		0,333	0	0,167	0	33,138	0,0032	0,0221
1	11:00a.m.	34	35	34,5	25	314	0,0302	0,6243
2	11:01a.m.	33	35	34	25	570	0,0158	0,7226
3	11:02a.m.	33	35	34	25	755	0,0119	0,7489
Promedio		33,333	35	34,167	25	546,333	0,0193	0,6986
$\sigma$		0,577	0	0,2887	0	221,450	0,0097	0,0657
%e		0,333	0	0,167	0	127,854	0,0056	0,0379
1	11:20a.m.	34	35	34,5	25	329	0,0289	0,6336
2	11:21a.m.	34	34	34	25	324	0,0278	0,6411
3	11:22a.m.	34	36	35	25	646	0,0155	0,7247
Promedio		34	35	34,5	25	433	0,0240	0,6665
$\sigma$		0	1	0,5	0	184,480	0,0074	0,0506
%e		0	0,577	0,289	0	106,510	0,0043	0,0292
1	11:40a.m.	33	36	34,5	25	645	0,0147	0,7298
2	11:41a.m.	33	34	33,5	25	425	0,0200	0,6940
3	11:42a.m.	34	35	34,5	25	426	0,0223	0,6783
Promedio		33,333	35	34,167	25	498,667	0,0190	0,7007
$\sigma$		0,577	1	0,577	0	126,729	0,0039	0,0677
%e		0,333	0,577	0,333	0	73,167	0,0022	0,0152
1	12:00p.m.	33	35	33,5	25	317	0,0268	0,6476
2	12:01p.m.	33	35	33,5	25	215	0,0395	0,5612
3	12:02p.m.	33	35	33,5	25	183	0,0464	0,5141
Promedio		33	35	33,5	25	238,333	0,3760	0,5743
$\sigma$		0	0	0	0	69,981	0,0099	0,0677
%e		0	0	0	0	40,403	0,0057	0,0391
1	12:20p.m.	33	35	34	25	519	0,0173	0,7121
2	12:21p.m.	33	36	34,5	25	657	0,0144	0,7317
3	12:22p.m.	33	34	33,5	25	439	0,0194	0,6983
Promedio		33	35	34	25	538,333	0,0171	0,7140
$\sigma$		0	1	0,5	0	110,278	0,0025	0,0167
%e		0	0,577	0,289	0	63,669	0,0014	0,0097
1	12:40p.m.	34	39	36,5	25	995	0,0116	0,7514
2	12:41p.m.	34	39	36,5	25	929	0,0123	0,7458
3	12:42p.m.	34	39	36,5	25	898	0,0128	0,7429
Promedio		34	39	36,5	25	940,667	0,0122	0,7467

$\sigma$		0	0	0	0	49,541	0,0006	0,0043
%e		0	0	0	0	28,602	0,0004	0,0025
1	1:00p.m.	34	40	37	25	892	0,0134	0,7385
2	1:01p.m.	34	40	37	25	876	0,0137	0,7368
3	1:02p.m.	33	38	35,5	25	223	0,0471	0,5098
Promedio		33,667	39,333	36,5	25	663,667	0,0248	0,6617
$\sigma$		0,577	1,155	0,866	0	381,712	0,0193	0,1315
%e		0,333	0,667	0,5	0	220,381	0,0112	0,7596
1	1:20p.m.	34	39	36,5	25	894	0,0129	0,7425
2	1:21p.m.	34	39	36,5	25	865	0,0133	0,7396
3	1:22p.m.	33	38	35,5	25	362	0,0290	0,6328
Promedio		33,667	38,667	36,167	25	707	0,0184	0,7050
$\sigma$		0,577	0,577	0,577	0	299,130	0,0092	0,0625
%e		0,333	0,333	0,333	0	172,703	0,0053	0,0361
1	1:40p.m.	34	37	35,5	25	775	0,0135	0,7379
2	1:41p.m.	33	36	34,5	25	485	0,0196	0,6968
3	1:42p.m.	34	36	35	25	741	0,0290	0,7382
Promedio		33,667	36,333	35	25	667	0,0155	0,7243
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	158,531	0,0035	0,0238
%e		0,333	0,333	0,289	0	91,528	0,0020	0,0137
1	2:00p.m.	33	36	34,5	25	186	0,0511	0,4827
2	2:01p.m.	33	35	34	25	202	0,0445	0,5270
3	2:02p.m.	34	35	34,5	25	239	0,0397	0,5597
Promedio		33,333	35,333	34,333	25	209	0,0451	0,5231
$\sigma$		0,577	0,577	0,289	0	27,184	0,0057	0,0386
%e		0,333	0,333	0,167	0	15,695	0,0033	0,0223

#### A5. TABLA DE DATOS COLECTOR CON SERPERTÍN DE COBRE DÍA 2.

Fecha:	14/02/2015				
Hora	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$T_t$ [°C]	$T_a$ [°C]	H [w/m <sup>2</sup> ]
10:00 a.m.	32	44	38	26	717
10:01 a.m.	31	42	38	26	770
10:02 a.m.	32	39	38	26	777
10:20 a.m.	32	40	39	26	801
10:21 a.m.	33	40	39	26	803
10:22 a.m.	33	41	39	26	808

10:40 a.m.	33	38	39	26	848
10:41 a.m.	33	38	39	26	836
10:42 a.m.	32	38	39	26	841
11:00 a.m.	33	39	39	26	871
11:01 a.m.	33	39	39	26	868
11:02 a.m.	32	39	40	26	870
11:20 a.m.	34	39	40	26	815
11:21 a.m.	33	39	38	26	816
11:22 a.m.	34	39	39	26	839
11:40 a.m.	34	37	39	26	897
11:41 a.m.	34	38	40	26	878
11:42 a.m.	35	37	40	26	883
12:00 p.m.	36	38	40	26	884
12:01 p.m.	36	38	41	26	886
12:02 p.m.	35	36	39	26	304
12:20 p.m.	34	40	40	26	901
12:21 p.m.	35	42	41	26	941
12:22 p.m.	35	40	41	26	889
12:40 p.m.	35	42	41	26	918
12:41 p.m.	34	41	41	26	909
12:42 p.m.	35	40	41	26	907
1:00 p.m.	33	36	40	26	307
1:01 p.m.	33	36	39	26	285
1:02 p.m.	33	35	39	26	271
1:20 p.m.	32	35	39	26	280
1:21 p.m.	33	34	39	26	299
1:22 p.m.	33	34	38	26	303
1:40 p.m.	33	36	39	26	535
1:41 p.m.	32	37	40	26	852
1:42 p.m.	34	38	40	26	919
2:00 p.m.	32	35	38	26	287
2:01 p.m.	33	36	39	26	405
2:02 p.m.	34	36	49	26	815

**Tabla A5.** Datos del colector con serpentín de cobre día 2.

### A5.1. TABLA DE CÁLCULOS COLECTOR CON SERPENTÍN DE COBRE DÍA 2.

#	Hora	$T_e$	$T_s$	$T_m$	$T_a$	H	X	$\eta$
1	10:00a.m.	32	44	38	26	717	0,0167	0,7162
2	10:01a.m.	31	42	36,5	26	770	0,0136	0,7372
3	10:02a.m.	32	39	35,5	26	777	0,0122	0,7468
Promedio		31,667	41,667	36,667	26	754,667	0,0142	0,7334
$\sigma$		0,577	2,517	1,258	0	32,807	0,0023	0,0157

	%e	0,333	1,453	0,726	0	18,941	0,0013	0,0091
1	10:20a.m.	32	40	36	26	801	0,0125	0,7451
2	10:21a.m.	33	40	36,5	26	803	0,0131	0,7411
3	10:22a.m.	33	41	37	26	808	0,0136	0,7374
Promedio		32,667	40,333	36,5	26	804	0,0131	0,7412
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	3,605	0,0006	0,0038
%e		0,333	0,333	0,289	0	2,082	0,0003	0,0022
1	10:40a.m.	33	38	35,5	26	848	0,0112	0,7538
2	10:41a.m.	33	38	35,5	26	836	0,0114	0,7527
3	10:42a.m.	32	38	35	26	841	0,0107	0,7572
Promedio		32,667	38	35,333	26	841,667	0,0111	0,7546
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	6,028	0,0003	0,0023
%e		0,333	0	0,167	0	3,480	0,0002	0,0013
1	11:00a.m.	33	39	36	26	871	0,0115	0,7519
2	11:01a.m.	33	39	36	26	868	0,0115	0,7516
3	11:02a.m.	32	39	35,5	26	870	0,0109	0,7557
Promedio		32,667	39	35,833	26	869,667	0,0113	0,7531
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	1,527	0,0003	0,0023
%e		0,333	0	0,167	0	0,882	0,0002	0,0013
1	11:20a.m.	34	39	36,5	26	815	0,0129	0,0742
2	11:21a.m.	33	39	36	26	816	0,0122	0,0747
3	11:22a.m.	34	39	36,5	26	839	0,0125	0,7449
Promedio		33,667	39	36,333	26	823,333	0,0125	0,7446
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	13,577	0,0003	0,0025
%e		0,333	0	0,167	0	7,839	0,0002	0,0012
1	11:40a.m.	34	37	35,5	26	897	0,0106	0,7580
2	11:41a.m.	34	38	36	26	878	0,0114	0,7525
3	11:42a.m.	35	37	36	26	883	0,0113	0,7530
Promedio		34,333	37,333	35,833	26	886	0,0111	0,7545
$\sigma$		0,577	0,577	0,289	0	9,849	0,0004	0,0030
%e		0,333	0,333	0,167	0	5,686	0,0003	0,0017
1	12:00p.m.	36	38	37	26	884	0,0124	0,7454
2	12:01p.m.	36	38	37	26	886	0,0124	0,7456
3	12:02p.m.	35	36	35,5	26	304	0,0312	0,6175
Promedio		35,667	37,333	36,5	26	691,333	0,0187	0,7028
$\sigma$		0,577	1,155	0,866	0	335,442	0,0109	0,0739
%e		0,333	0,667	0,5	0	193,667	0,0063	0,0427



1	12:20p.m.	36	40	37	26	901	0,0122	0,7470
2	12:21p.m.	36	42	38,5	26	941	0,0133	0,7397
3	12:22p.m.	35	40	37,5	26	889	0,0129	0,7420
Promedio		34,667	40,667	37,667	26	910,333	0,0128	0,7489
$\sigma$		0,577	1,155	0,764	0	27,227	0,0005	0,0037
%e		0,333	0,667	0,441	0	15,720	0,0003	0,0021
1	12:40p.m.	35	42	38,5	26	918	0,0136	0,7374
2	12:41p.m.	34	41	37,5	26	909	0,0126	0,7440
3	12:42p.m.	35	40	37,5	26	907	0,0127	0,7438
Promedio		34,667	41	37,833	26	911,333	0,0130	0,7417
$\sigma$		0,577	1	0,577	0	5,859	0,0005	0,0037
%e		0,333	0,577	0,333	0	3,383	0,0003	0,0021
1	1:00p.m.	33	36	34,5	26	307	0,0277	0,6417
2	1:01p.m.	33	36	34,5	26	285	0,0298	0,6272
3	1:02p.m.	33	35	34	26	271	0,0295	0,6293
Promedio		33	35,667	34,333	26	287,667	0,0290	0,6327
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	18,147	0,0011	0,0079
%e		0	0,333	0,167	0	10,477	0,0007	0,0045
1	1:20p.m.	32	35	33,5	26	280	0,0268	0,6478
2	1:21p.m.	33	34	33,5	26	299	0,0251	0,6594
3	1:22p.m.	33	34	33,5	26	303	0,0247	0,6617
Promedio		32,667	34,333	33,5	26	294	0,0255	0,6563
$\sigma$		0,577	0,577	0	0	12,288	0,0011	0,0074
%e		0,333	0,333	0	0	7,094	0,0006	0,0043
1	1:40p.m.	33	36	34,5	26	535	0,0159	0,7220
2	1:41p.m.	32	37	34,5	26	852	0,0100	0,7621
3	1:42p.m.	34	38	36	26	919	0,0109	0,7560
Promedio		33	37	35	26	768,667	0,0122	0,7467
$\sigma$		1	1	0,866	0	205,115	0,0032	0,0216
%e		0,577	0,577	0,5	0	118,423	0,0018	0,0125
1	2:00p.m.	32	35	33,5	26	287	0,0261	0,6523
2	2:01p.m.	33	36	34,5	26	405	0,0210	0,6873
3	2:02p.m.	34	36	35	26	815	0,0110	0,7549
Promedio		33	35,667	34,333	26	502,333	0,0194	0,6982
$\sigma$		1	0,577	0,764	0	277,130	0,0077	0,0521
%e		0,577	0,333	0,441	0	160,001	0,0044	0,0301

**A6. TABLA DE DATOS COLECTOR CON SERPERTÍN DE COBRE DÍA 3.**

Fecha:	15/02/2015				
Hora	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$T_t$ [°C]	$T_a$ [°C]	H [w/m <sup>2</sup> ]
10:00 a.m.	32	38	39	24	941
10:01 a.m.	33	39	39	24	951
10:02 a.m.	33	40	39	24	961
10:20 a.m.	33	42	40	24	981
10:21 a.m.	32	41	40	24	979
10:22 a.m.	33	42	40	24	1001
10:40 a.m.	31	37	40	24	347
10:41 a.m.	32	38	40	24	358
10:42 a.m.	32	40	40	24	455
11:00 a.m.	33	37	38	24	825
11:01 a.m.	33	37	37	24	840
11:02 a.m.	33	37	38	24	802
11:20 a.m.	33	40	40	24	767
11:21 a.m.	32	40	41	24	642
11:22 a.m.	32	40	41	24	559
11:40 a.m.	31	36	40	24	378
11:41 a.m.	31	35	40	24	284
11:42 a.m.	31	35	40	24	263
12:00 p.m.	30	34	38	24	256
12:01 p.m.	30	34	37	24	240
12:02 p.m.	29	34	37	24	258
12:20 p.m.	31	35	38	24	162
12:21 p.m.	30	34	38	24	130
12:22 p.m.	31	34	38	24	129
12:40 p.m.	31	35	38	24	297
12:41 p.m.	30	34	38	24	286
12:42 p.m.	31	35	38	24	270
1:00 p.m.	30	35	37	24	178
1:01 p.m.	30	35	38	24	187
1:02 p.m.	30	35	38	24	200
1:20 p.m.	30	35	39	24	276
1:21 p.m.	30	34	39	24	263
1:22 p.m.	31	34	39	24	279
1:40 p.m.	30	35	38	24	253
1:41 p.m.	30	34	38	24	255
1:42 p.m.	30	34	38	24	259
2:00 p.m.	30	34	37	24	212

2:01 p.m.	30	34	37	24	216
2:02 p.m.	30	34	38	24	218

**Tabla A6.** Datos del colector con serpentín de cobre día 3.

**A6.1. TABLA DE CÁLCULOS COLECTOR CON SERPENTÍN DE COBRE DÍA 3.**

#	Hora	T <sub>e</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>a</sub>	H	X	$\eta$
1	10:00a.m.	32	38	35	24	941	0,0117	0,7505
2	10:01a.m.	33	39	36	24	951	0,0126	0,7441
3	10:02a.m.	33	40	36,5	24	961	0,0130	0,7415
Promedio		32,667	39	35,833	24	951	0,0124	0,7454
$\sigma$		0,577	1	0,764	0	10	0,0007	0,0046
%e		0,333	0,577	0,441	0	5,773	0,0004	0,0026
1	10:20a.m.	33	42	37,5	24	981	0,0138	0,7364
2	10:21a.m.	32	41	36,5	24	979	0,0128	0,7432
3	10:22a.m.	33	42	37,5	24	1001	0,0135	0,7383
Promedio		32,667	41,667	37,167	24	987	0,0133	0,7393
$\sigma$		0,577	0,577	0,577	0	12,165	0,0005	0,0035
%e		0,333	0,333	0,333	0	7,0238	0,0003	0,0020
1	10:40a.m.	31	37	34	24	347	0,0288	0,6340
2	10:41a.m.	32	38	35	24	358	0,0307	0,6211
3	10:42a.m.	32	40	36	24	455	0,0264	0,6506
Promedio		31,667	38,333	35	24	386,667	0,0286	0,6352
$\sigma$		0,577	1,523	1	0	59,433	0,0022	0,0148
%e		0,333	0,882	0,577	0	34,314	0,0012	0,0086
1	11:00a.m.	33	37	35	24	825	0,0133	0,7393
2	11:01a.m.	33	37	35	24	840	0,0131	0,7409
3	11:02a.m.	33	37	35	24	802	0,0137	0,7367
Promedio		33	37	35	24	822,333	0,0134	0,7390
$\sigma$		0	0	0	0	19,140	0,0003	0,0021
%e		0	0	0	0	11,050	0,0002	0,0012
1	11:20a.m.	33	40	36,5	24	767	0,0163	0,7192
2	11:21a.m.	32	40	36	24	642	0,0187	0,7029
3	11:22a.m.	32	40	36	24	559	0,0215	0,6840
Promedio		32,333	40	36,167	24	656	0,0188	0,7020
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	104,704	0,0026	0,0176
%e		0,333	0	0,167	0	60,451	0,0015	0,0101
1	11:40a.m.	31	36	33,5	24	378	0,0251	0,6591

2	11:41a.m.	31	35	33	24	284	0,0317	0,6145
3	11:42a.m.	31	35	33	24	263	0,0342	0,5973
Promedio		31	35,333	33,167	24	308,333	0,0303	0,6236
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	61,240	0,0047	0,0312
%e		0	0,333	0,167	0	35,357	0,0027	0,0184
1	12:00p.m.	30	34	32	24	256	0,0312	0,6175
2	12:01p.m.	30	34	32	24	240	0,0333	0,6033
3	12:02p.m.	29	34	31,5	24	268	0,0280	0,6397
Promedio		29,667	34	31,833	24	254,667	0,0308	0,6202
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	14,047	0,0027	0,0183
%e		0,333	0	0,167	0	8,110	0,0015	0,0106
1	12:20p.m.	31	35	33	24	162	0,0556	0,4522
2	12:21p.m.	30	34	32	24	130	0,0615	0,4115
3	12:22p.m.	31	35	32,5	24	129	0,0659	0,3819
Promedio		30,667	34,333	32,5	24	140,333	0,0610	0,4152
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	18,770	0,0052	0,0353
%e		0,333	0,333	0,289	0	10,837	0,0030	0,0204
1	12:40p.m.	31	35	33	24	297	0,0303	0,6239
2	12:41p.m.	30	34	32	24	286	0,0280	0,6398
3	12:42p.m.	31	35	33	24	270	0,0333	0,6033
Promedio		30,667	34,667	32,667	24	284,333	0,0305	0,6223
$\sigma$		0,577	0,577	0,577	0	13,577	0,0027	0,0183
%e		0,333	0,333	0,333	0	7,839	0,0015	0,0105
1	1:00p.m.	30	35	32,5	24	178	0,0477	0,5053
2	1:01p.m.	30	35	32,5	24	187	0,0454	0,5209
3	1:02p.m.	30	35	32,5	24	200	0,0425	0,5410
Promedio		30	35	32,5	24	188,333	0,0452	0,5224
$\sigma$		0	0	0	0	11,060	0,0026	0,0179
%e		0	0	0	0	6,386	0,0015	0,0103
1	1:20p.m.	30	35	32,5	24	276	0,0308	0,6206
2	1:21p.m.	30	34	32	24	263	0,0304	0,6231
3	1:22p.m.	31	34	32,5	24	279	0,0305	0,6228
Promedio		30,333	34,333	32,333	24	272,667	0,0306	0,6222
$\sigma$		0,577	0,577	0,289	0	8,505	0,0002	0,0014
%e		0,333	0,333	0,167	0	4,910	0,0001	0,0008
1	1:40p.m.	30	35	32,5	24	253	0,0336	0,6015
2	1:41p.m.	30	34	32	24	255	0,0314	0,6167

3	1:42p.m.	30	34	32	24	259	0,0309	0,6200
Promedio		30	34,333	32,167	24	255,667	0,0319	0,6127
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	3,055	0,0014	0,0098
%e		0	0,333	0,167	0	1,764	0,0008	0,0057
1	2:00p.m.	30	34	32	24	212	0,0377	0,5734
2	2:01p.m.	30	34	32	24	216	0,0370	0,5781
3	2:02p.m.	30	34	32	24	218	0,0367	0,5804
Promedio		30	34	32	24	215,333	0,0371	0,5773
$\sigma$		0	0	0	0	3,055	0,0005	0,0036
%e		0	0	0	0	1,764	0,0003	0,0021

#### A7. TABLA DE DATOS COLECTOR DE TUBOS AL VACÍO DÍA 1.

Fecha:	14/02/2015			
Hora	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$T_a$ [°C]	H[w/m <sup>2</sup> ]
10:00a.m.	27	55	26	717
10:01a.m.	26	57	26	770
10:02a.m.	26	59	26	777
10:20a.m.	26	56	26	801
10:21a.m.	28	55	26	803
10:22a.m.	28	57	26	808
10:40a.m.	29	60	26	848
10:41a.m.	29	56	26	836
10:42a.m.	28	59	26	841
11:00a.m.	29	61	26	871
11:01a.m.	28	62	26	868
11:02a.m.	28	64	26	870
11:20a.m.	29	61	26	815
11:21a.m.	28	63	26	816
11:22a.m.	29	63	26	839
11:40a.m.	28	65	26	897
11:41a.m.	28	63	26	878
11:42a.m.	27	60	26	883
12:00p.m.	27	62	26	884
12:01p.m.	28	63	26	886
12:02p.m.	27	56	26	304
12:20p.m.	26	59	26	901
12:21p.m.	26	58	26	941
12:22p.m.	25	58	26	889
12:40p.m.	27	61	26	918

12:41p.m.	30	61	26	909
12:42p.m.	27	61	26	907
1:00p.m.	27	59	26	303
1:01p.m.	27	58	26	285
1:02p.m.	26	55	26	271
1:20p.m.	26	55	26	280
1:21p.m.	27	55	26	299
1:22p.m.	26	54	26	303
1:40p.m.	29	56	26	535
1:41p.m.	29	58	26	852
1:42p.m.	28	61	26	919
2:00p.m.	27	50	26	287
2:01p.m.	29	56	26	405
2:02p.m.	27	60	26	815

**Tabla A7.** Datos del colector de tubos al vacío día 1.

#### A7.1. TABLA DE CÁLCULOS COLECTOR DE TUBOS AL VACÍO DÍA 1.

#	Hora	$T_e$	$T_s$	$T_m$	$T_a$	H	X	$\eta$
1	10:00a.m.	27	55	41	26	717	0,0209	0,6877
2	10:01a.m.	26	57	41,5	26	770	0,0201	0,6931
3	10:02a.m.	26	59	42,5	26	777	0,0212	0,6856
Promedio		26,333	57	41,667	26	754,667	0,0208	0,688
$\sigma$		0,577	2	0,764	0	32,807	0,0006	0,0039
%e		0,333	1,155	0,441	0	18,941	0,0003	0,0022
1	10:20a.m.	26	56	41	26	801	0,0187	0,7027
2	10:21a.m.	28	55	41,5	26	803	0,0193	0,6987
3	10:22a.m.	28	57	42,5	26	808	0,0204	0,6911
Promedio		27,333	56	41,667	26	804	0,0195	0,6975
$\sigma$		1,155	1	0,764	0	3,605	0,0009	0,0059
%e		0,667	0,577	0,441	0	2,082	0,0005	0,0034
1	10:40a.m.	29	60	44,5	26	848	0,0218	0,6817
2	10:41a.m.	29	56	42,5	26	836	0,0197	0,6958
3	10:42a.m.	28	59	43,5	26	841	0,0208	0,6885
Promedio		28,667	58,333	43,5	26	841,667	0,0208	0,6886
$\sigma$		0,577	2,082	1	0	6,028	0,0010	0,0071
%e		0,333	1,202	0,577	0	3,480	0,0006	0,0041

1	11:00a.m.	29	61	45	26	871	0,0218	0,6817
2	11:01a.m.	28	62	45	26	868	0,0219	0,6812
3	11:02a.m.	28	64	46	26	870	0,0230	0,6737
Promedio		28,333	62,333	45,333	26	869,667	0,0222	0,6788
$\sigma$		0,577	1,527	0,577	0	1,527	0,0006	0,0045
%e		0,333	0,882	0,333	0	0,882	0,0003	0,0026
1	11:20a.m.	29	61	45	26	815	0,0233	0,6715
2	11:21a.m.	28	63	45,5	26	816	0,0239	0,6675
3	11:22a.m.	29	63	46	26	839	0,0238	0,6679
Promedio		28,667	62,333	45,5	26	823,333	0,0237	0,6690
$\sigma$		0,577	1,155	0,5	0	13,577	0,0003	0,0022
%e		0,333	0,667	0,289	0	7,839	0,0002	0,0013
1	11:40a.m.	28	65	46,5	26	897	0,0229	0,6746
2	11:41a.m.	28	63	45,5	26	878	0,0222	0,6790
3	11:42a.m.	27	60	43,5	26	883	0,0198	0,6952
Promedio		27,667	62,667	45,167	26	886	0,0216	0,6829
$\sigma$		0,577	2,517	1,5275	0	9,849	0,0016	0,0109
%e		0,333	1,453	0,882	0	5,686	0,0009	0,0063
1	12:00p.m.	27	62	44,5	26	884	0,0209	0,6877
2	12:01p.m.	28	63	45,5	26	886	0,0220	0,6803
3	12:02p.m.	27	56	41,5	26	304	0,0510	0,4833
Promedio		27,333	60,333	43,833	26	691,333	0,0313	0,6171
$\sigma$		0,577	3,786	2,082	0	335,442	0,0139	0,0948
%e		0,333	2,186	1,202	0	193,667	0,0098	0,0669
1	12:20p.m.	26	59	42,5	26	901	0,0183	0,7055
2	12:21p.m.	26	58	42	26	941	0,0170	0,7144
3	12:22p.m.	25	58	41,5	26	889	0,0174	0,7114
Promedio		25,667	58,333	42	26	910,333	0,0176	0,7104
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	27,227	0,0006	0,0045
%e		0,333	0,333	0,289	0	15,720	0,0004	0,0026
1	12:40p.m.	27	61	44	26	918	0,0196	0,6967
2	12:41p.m.	30	61	44,5	26	909	0,0215	0,6841
3	12:42p.m.	27	61	44	26	907	0,0198	0,6950
Promedio		28	61	44,5	26	911,333	0,0203	0,6919
$\sigma$		1,732	0	0,866	0	5,859	0,0010	0,0068
%e		1	0	0,5	0	3,383	0,0006	0,0039
1	1:00p.m.	27	59	43	26	303	0,0561	0,4485

2	1:01p.m.	27	58	42,5	26	285	0,0579	0,4363
3	1:02p.m.	26	55	40,5	26	271	0,0535	0,4662
Promedio		26,667	57,333	42	26	286,333	0,0558	0,4503
$\sigma$		0,577	2,082	1,323	0	16,042	0,0022	0,0150
%e		0,333	1,202	0,764	0	9,262	0,0013	0,0087
1	1:20p.m.	26	55	40,5	26	280	0,0518	0,4779
2	1:21p.m.	27	55	41	26	299	0,0502	0,4889
3	1:22p.m.	26	54	40	26	303	0,0462	0,5158
Promedio		26,333	54,667	40,5	26	294	0,0494	0,4942
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	12,288	0,0029	0,0195
%e		0,333	0,333	0,289	0	7,094	0,0016	0,0112
1	1:40p.m.	29	56	42,5	26	535	0,0308	0,6203
2	1:41p.m.	29	58	43,5	26	852	0,0205	0,6903
3	1:42p.m.	28	61	44,5	26	919	0,0201	0,6931
Promedio		28,667	58,333	43,5	26	787,667	0,0238	0,6679
$\sigma$		0,577	2,517	1	0	205,115	0,0061	0,0413
%e		0,333	1,453	0,577	0	118,423	0,0035	0,0238
1	2:00p.m.	27	50	38,5	26	287	0,0436	0,5338
2	2:01p.m.	29	56	42,5	26	405	0,0407	0,5530
3	2:02p.m.	27	60	43,5	26	815	0,0215	0,6840
Promedio		27,667	55,333	41,5	26	502,333	0,0353	0,5903
$\sigma$		1,155	5,033	2,646	0	277,130	0,0120	0,0817
%e		0,667	2,906	1,527	0	160,001	0,0069	0,0069

#### A8. TABLA DE DATOS COLECTOR DE TUBOS AL VACÍO DÍA 2.

Fecha:	15/02/2015			
Hora	T <sub>e</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>a</sub> [°C]	H[w/m <sup>2</sup> ]
10:00a.m.	28	62	24	941
10:01a.m.	29	62	24	951
10:02a.m.	28	63	24	961
10:20a.m.	27	61	24	981
10:21a.m.	27	62	24	979
10:22a.m.	28	63	24	1001
10:40a.m.	26	63	24	347
10:41a.m.	28	60	24	338
10:42a.m.	28	55	24	455
11:00a.m.	28	56	24	825



11:01a.m.	29	56	24	840
11:02a.m.	29	55	24	802
11:20a.m.	27	57	24	767
11:21a.m.	28	57	24	642
11:22a.m.	28	57	24	559
11:40a.m.	27	57	24	378
11:41a.m.	25	57	24	284
11:42a.m.	26	53	24	263
12:00p.m.	28	53	24	103
12:01p.m.	25	52	24	97
12:02p.m.	26	50	24	68
12:20p.m.	30	51	24	162
12:21p.m.	27	50	24	130
12:22p.m.	29	52	24	129
12:40p.m.	28	54	24	297
12:41p.m.	29	54	24	286
12:42p.m.	28	52	24	270
1:00p.m.	29	52	24	178
1:01p.m.	29	51	24	187
1:02p.m.	29	53	24	200
1:20p.m.	30	53	24	276
1:21p.m.	29	53	24	263
1:22p.m.	28	53	24	279
1:40p.m.	28	53	24	253
1:41p.m.	28	54	24	255
1:42p.m.	29	53	24	259
2:00p.m.	27	54	24	212
2:01p.m.	27	53	24	216
2:02p.m.	29	53	24	218

**Tabla A8.** Datos del colector de tubos al vacío día 2.

### **A8.1. TABLA CÁLCULOS COLECTOR DE TUBOS AL VACÍO DÍA 2.**

#	Hora	$T_e$	$T_s$	$T_m$	$T_a$	H	X	$\eta$
1	10:00a.m.	28	62	45	24	941	0,0223	0,6782
2	10:01a.m.	29	62	45,5	24	951	0,0226	0,6763
3	10:02a.m.	28	63	45,5	24	961	0,0224	0,6779
Promedio		28,333	62,333	45,333	24	951	0,0224	0,6775
$\sigma$		0,577	0,577	0,289	0	10	0,0002	0,0010
%e		0,333	0,333	0,167	0	5,773	0,0001	0,0006
1	10:20a.m.	27	61	44	24	981	0,0204	0,6914
2	10:21a.m.	27	62	44,5	24	979	0,0209	0,6876

3	10:22a.m.	28	63	43	24	1001	0,0215	0,6839
Promedio		27,333	62	45,5	24	987	0,0209	0,6876
$\sigma$		0,577	1	0,764	0	12,165	0,0005	0,0033
%e		0,333	0,577	0,441	0	7,023	0,0003	0,0021
1	10:40a.m.	26	63	44,5	24	347	0,0591	0,4283
2	10:41a.m.	28	60	44	24	338	0,0592	0,4276
3	10:42a.m.	28	55	41,5	24	455	0,0385	0,5685
Promedio		27,333	59,333	43,333	24	380	0,0522	0,4748
$\sigma$		1,155	4,041	1,607	0	65,108	0,0119	0,0811
%e		0,667	2,333	0,928	0	37,590	0,0069	0,0468
1	11:00a.m.	28	56	42	24	825	0,0218	0,6816
2	11:01a.m.	29	56	42,5	24	840	0,0220	0,6802
3	11:02a.m.	29	55	42	24	802	0,0224	0,6774
Promedio		28,667	55,667	42,167	24	822,333	0,0221	0,6797
$\sigma$		0,577	0,577	0,289	0	19,140	0,0003	0,0217
%e		0,333	0,333	0,167	0	11,050	0,0002	0,0125
1	11:20a.m.	27	57	42	24	767	0,0235	0,6704
2	11:21a.m.	28	57	42,5	24	642	0,0288	0,6340
3	11:22a.m.	28	57	42,5	24	559	0,0331	0,6049
Promedio		27,667	57	42,333	24	656	0,0285	0,6365
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	104,704	0,0048	0,0328
%e		0,333	0	0,167	0	60,451	0,0028	0,0189
1	11:40a.m.	27	57	42	24	378	0,0476	0,5512
2	11:41a.m.	25	57	41	24	284	0,0598	0,4828
3	11:42a.m.	26	53	39,5	24	263	0,0589	0,4939
Promedio		26	55,667	40,333	24	308,333	0,0555	0,4528
$\sigma$		1	2,309	1,258	0	61,240	0,0068	0,0463
%e		0,577	1,333	0,7264	0	35,357	0,0039	0,0267
1	12:00p.m.	28	53	40,5	24	256	0,0644	0,3917
2	12:01p.m.	25	52	38,5	24	240	0,0604	0,4192
3	12:02p.m.	26	50	38	24	268	0,0522	0,4748
Promedio		26,333	51,667	39	24	254,667	0,0590	0,4285
$\sigma$		1,527	1,528	1,323	0	14,047	0,0062	0,0423
%e		0,882	0,882	0,764	0	8,110	0,0036	0,0244
1	12:20p.m.	30	51	40,5	24	162	0,1018	0,1374
2	12:21p.m.	27	50	38,5	24	130	0,1115	0,0715
3	12:22p.m.	29	52	40,5	24	129	0,1279	0,0398

Promedio		28,667	51	39,833	24	140,333	0,1138	0,0564
$\sigma$		1,527	1	1,155	0	18,770	0,0132	0,0895
%e		0,882	0,577	0,667	0	10,837	0,0076	0,0517
1	12:40p.m.	28	54	41	24	297	0,0572	0,4408
2	12:41p.m.	29	54	41,5	24	286	0,0612	0,4139
3	12:42p.m.	28	52	40	24	270	0,0593	0,4270
Promedio		28,333	53,333	40,833	24	284,333	0,0592	0,4272
$\sigma$		0,577	1,155	0,764	0	13,577	0,0020	0,0134
%e		0,333	0,667	0,441	0	7,839	0,0011	0,0077
1	1:00p.m.	29	52	40,5	24	178	0,0927	0,1997
2	1:01p.m.	29	51	40	24	187	0,0856	0,2482
3	1:02p.m.	29	53	41	24	200	0,0850	0,2520
Promedio		29	52	40,5	24	188,333	0,0877	0,2333
$\sigma$		0	1	0,5	0	11,060	0,0043	0,0292
%e		0	0,577	0,289	0	6,386	0,0025	0,0168
1	1:20p.m.	30	53	41,5	24	276	0,0634	0,3988
2	1:21p.m.	29	53	41	24	263	0,0646	0,3904
3	1:22p.m.	28	53	40,5	24	279	0,0591	0,4278
Promedio		29	49	41	24	272,667	0,0624	0,4057
$\sigma$		1	0	0,5	0	8,505	0,0029	0,0196
%e		0,577	0	0,289	0	4,910	0,0017	0,0113
1	1:40p.m.	28	53	40,5	24	253	0,0652	0,3865
2	1:41p.m.	28	54	41	24	255	0,0667	0,3767
3	1:42p.m.	29	53	41	24	259	0,0656	0,3837
Promedio		28,333	53,333	40,833	24	255,667	0,0658	0,3823
$\sigma$		0,577	0,577	0,289	0	3,055	0,0007	0,0051
%e		0,333	0,333	0,167	0	1,764	0,0004	0,0029
1	2:00p.m.	27	54	40,5	24	212	0,0778	0,3007
2	2:01p.m.	27	53	40	24	216	0,0741	0,3262
3	2:02p.m.	29	53	41	24	218	0,0800	0,2997
Promedio		27,667	53,333	40,5	24	215,333	0,0766	0,3089
$\sigma$		1,155	0,577	0,5	0	3,055	0,0022	0,0150
%e		0,667	0,333	0,289	0	1,764	0,0013	0,0087

**A9. TABLA DE DATOS COLECTOR DE TUBOS AL VACÍO DÍA 3.**

Fecha:	16/02/2015			
Hora	T <sub>e</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>a</sub> [°C]	H[w/m <sup>2</sup> ]
10:00a.m.	27	55	27	997
10:01a.m.	27	56	27	965
10:02a.m.	26	62	27	938
10:20a.m.	27	65	27	1012
10:21a.m.	28	62	27	987
10:22a.m.	26	59	27	963
10:40a.m.	27	58	27	877
10:41a.m.	29	58	27	569
10:42a.m.	29	57	27	444
11:00a.m.	29	63	27	916
11:01a.m.	29	63	27	915
11:02a.m.	28	63	27	910
11:20a.m.	26	64	27	945
11:21a.m.	26	63	27	939
11:22a.m.	26	63	27	922
11:40a.m.	27	63	27	838
11:41a.m.	29	63	27	865
11:42a.m.	28	64	27	901
12:00p.m.	29	63	27	929
12:01p.m.	29	63	27	908
12:02p.m.	28	62	27	887
12:20p.m.	30	63	27	889
12:21p.m.	30	63	27	919
12:22p.m.	29	64	27	925
12:40p.m.	30	59	27	646
12:41p.m.	30	59	27	541
12:42p.m.	30	58	27	407
1:00p.m.	26	53	27	290
1:01p.m.	26	52	27	248
1:02p.m.	27	52	27	222
1:20p.m.	29	60	27	781
1:21p.m.	27	60	27	777
1:22p.m.	28	59	27	760
1:40p.m.	29	58	27	717
1:41p.m.	30	58	27	710
1:42p.m.	30	58	27	708
2:00p.m.	27	56	27	650
2:01p.m.	26	57	27	597
2:02p.m.	26	57	27	588

**Tabla A9.** Datos del colector de tubos al vacío día 3.

### A9.1. TABLA DE CÁLCULOS COLECTOR DE TUBOS AL VACÍO DÍA 3.

#	Hora	T <sub>e</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>a</sub>	H	X	η
1	10:00a.m.	27	55	41	27	997	0,0140	0,7345
2	10:01a.m.	27	56	41,5	27	965	0,0150	0,7278
3	10:02a.m.	26	62	44	27	938	0,0181	0,7067
Promedio		26,667	57,667	42,667	27	966,667	0,0157	0,7230
σ		0,577	3,786	1,607	0	29,535	0,0021	0,0145
%e		0,333	2,186	0,928	0	17,052	0,0012	0,0084
1	10:20a.m.	27	65	46	27	1012	0,0188	0,7023
2	10:21a.m.	28	62	45	27	987	0,0182	0,7060
3	10:22a.m.	26	59	42,5	27	963	0,0161	0,7205
Promedio		27	62	44,5	27	987,333	0,0177	0,7096
σ		1	3	1,803	0	24,502	0,0014	0,0096
%e		0	1,732	1,041	0	14,146	0,0008	0,0056
1	10:40a.m.	27	58	42,5	27	877	0,0177	0,7098
2	10:41a.m.	29	58	43,5	27	569	0,0290	0,6328
3	10:42a.m.	29	57	43	27	444	0,0360	0,5849
Promedio		28,333	57,667	43	27	630	0,0276	0,6425
σ		1,154	0,577	0,5	0	222,852	0,0093	0,0630
%e		0,667	0,333	0,289	0	128,663	0,0058	0,0364
1	11:00a.m.	29	63	46	27	916	0,0207	0,6889
2	11:01a.m.	29	63	46	27	915	0,0208	0,6888
3	11:02a.m.	28	63	45,5	27	910	0,0203	0,6917
Promedio		28,667	63	45,833	27	913,667	0,0206	0,6898
σ		0,577	0	0,289	0	3,124	0,0002	0,0017
%e		0,333	0	0,167	0	1,856	0,0001	0,0010
1	11:20a.m.	26	64	45	27	945	0,0190	0,7005
2	11:21a.m.	26	63	44,5	27	939	0,0186	0,7033
3	11:22a.m.	26	63	44,5	27	922	0,0190	0,7009
Promedio		26	63,333	44,667	27	935,333	0,0189	0,7015
σ		0	0,577	0,289	0	11,930	0,0002	0,0015
%e		0	0,333	0,167	0	6,888	0,0001	0,0009
1	11:40a.m.	27	63	46	27	838	0,0215	0,6839
2	11:41a.m.	29	63	46	27	865	0,0220	0,6806
3	11:42a.m.	28	64	46,5	27	901	0,0211	0,6866
Promedio		28	63,333	45,667	27	868	0,0215	0,6837
σ		1	0,577	0,577	0	31,607	0,0004	0,0030

	%e	0,577	0,333	0,333	0	18,248	0,0002	0,0017
1	12:00p.m.	29	63	46	27	929	0,0204	0,6909
2	12:01p.m.	29	63	46	27	908	0,0209	0,6877
3	12:02p.m.	28	62	45	27	887	0,0203	0,6920
Promedio		35,667	62,667	45,667	27	908	0,0206	0,6902
$\sigma$		0,577	0,577	0,764	0	21	0,0003	0,0022
%e		0,333	0,333	0,441	0	12,124	0,0002	0,0013
1	12:20p.m.	30	63	46,5	27	889	0,0219	0,6808
2	12:21p.m.	30	63	46,5	27	919	0,0212	0,6857
3	12:22p.m.	29	64	46,5	27	925	0,0211	0,6866
Promedio		36,333	58,333	46,5	27	911	0,0214	0,6844
$\sigma$		0,577	0,577	0	0	19,287	0,0005	0,0031
%e		0,333	0,33	0	0	11,135	0,0003	0,0018
1	12:40p.m.	30	59	44,5	27	646	0,0271	0,6458
2	12:41p.m.	30	59	44,5	27	541	0,0323	0,6100
3	12:42p.m.	30	58	44	27	407	0,0418	0,5460
Promedio		30	58,667	44,333	27	531,333	0,0337	0,6006
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	119,793	0,0074	0,0506
%e		0	0,333	0,167	0	69,162	0,0043	0,0292
1	1:00p.m.	26	53	39,5	27	290	0,0431	0,5370
2	1:01p.m.	26	52	39	27	248	0,0484	0,5010
3	1:02p.m.	27	52	39,5	27	222	0,0563	0,4471
Promedio		26,333	52,333	39,333	27	253,333	0,0493	0,4950
$\sigma$		0,577	0,577	0,289	0	34,312	0,0066	0,0452
%e		0,333	0,333	0,167	0	19,810	0,0038	0,0261
1	1:20p.m.	29	60	44,5	27	781	0,0224	0,6863
2	1:21p.m.	27	60	43,5	27	777	0,0212	0,6900
3	1:22p.m.	28	59	43,5	27	760	0,0217	0,6958
Promedio		28	59,667	43,833	27	772,667	0,0218	0,6819
$\sigma$		1	0,577	0,577	0	11,150	0,0006	0,0040
%e		0,577	0,333	0,333	0	6,438	0,0003	0,0023
1	1:40p.m.	29	58	43,5	27	717	0,0230	0,6735
2	1:41p.m.	30	58	44	27	710	0,0239	0,6671
3	1:42p.m.	30	58	44	27	708	0,0240	0,6667
Promedio		29,667	58	43,833	27	711,667	0,0237	0,6691
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	4,726	0,0006	0,0040
%e		0,333	0	0,167	0	2,728	0,0003	0,0022

1	2:00p.m.	27	56	41,5	27	650	0,0223	0,6783
2	2:01p.m.	26	57	41,5	27	597	0,0243	0,6648
3	2:02p.m.	26	57	41,5	27	588	0,0247	0,6662
Promedio		26,333	56,667	41,5	27	611,667	0,0238	0,6684
$\sigma$		0,577	0,577	0	0	33,501	0,0013	0,0086
%e		0,333	0,333	0	0	19,342	0,0007	0,0050

**A10. TABLA DE DATOS COLECTORES DE PLACA PLANA  
CONECTADOS EN PARALELO DÍA 1.**

Fecha:	16/02/2015				
Hora	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$T_t$ [°C]	$T_a$ [°C]	H [w/m <sup>2</sup> ]
10:00a.m.	32	48	38	27	997
10:01a.m.	31	48	39	27	965
10:02a.m.	31	48	39	27	938
10:20a.m.	33	50	39	27	1012
10:21a.m.	31	49	39	27	987
10:22a.m.	32	49	39	27	963
10:40a.m.	31	49	39	27	877
10:41a.m.	31	47	39	27	569
10:42a.m.	31	47	39	27	444
11:00a.m.	32	48	40	27	916
11:01a.m.	32	48	39	27	915
11:02a.m.	31	48	39	27	910
11:20a.m.	33	48	40	27	945
11:21a.m.	33	48	41	27	939
11:22a.m.	33	47	40	27	922
11:40a.m.	32	47	40	27	838
11:41a.m.	33	47	40	27	865
11:42a.m.	33	47	40	27	901
12:00p.m.	33	49	40	27	929
12:01p.m.	33	48	40	27	908
12:02p.m.	33	47	40	27	887
12:20p.m.	32	46	40	27	889
12:21p.m.	32	46	40	27	919
12:22p.m.	33	47	41	27	925
12:40p.m.	31	45	40	27	646
12:41p.m.	31	43	40	27	541

12:42p.m.	31	43	40	27	407
1:00p.m.	31	37	40	27	290
1:01p.m.	31	36	40	27	248
1:02p.m.	30	36	39	27	222
1:20p.m.	31	43	40	27	781
1:21p.m.	30	43	39	27	777
1:22p.m.	31	43	39	27	760
1:40p.m.	30	43	40	27	717
1:41p.m.	31	43	40	27	710
1:42p.m.	30	43	40	27	708
2:00p.m.	30	42	40	27	650
2:01p.m.	30	42	40	27	597
2:02p.m.	30	42	40	27	588

**Tabla A10.** Datos de los colectores de placa plana conectados en paralelo día 1.

#### A10.1. TABLA DE CÁLCULOS COLECTORES DE PLACA PLANA CONECTADOS EN PARALELO DÍA 1.

#	Hora	$T_e$	$T_s$	$T_m$	$T_a$	H	X	$\eta$
1	10:00a.m.	32	48	40	27	997	0,0130	0,7413
2	10:01a.m.	31	48	39,5	27	965	0,0129	0,7419
3	10:02a.m.	31	48	40	27	938	0,0133	0,7394
Promedio		31,333	48	39,667	27	974,25	0,0131	0,7409
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	24,007	0,0002	0,0013
%e		0,333	0	0,1667	0	13,860	0	0,0008
1	10:20a.m.	33	50	41,5	27	1012	0,0143	0,7326
2	10:21a.m.	31	49	40	27	987	0,0132	0,7404
3	10:22a.m.	32	49	40,5	27	963	0,0140	0,7346
Promedio		32	49,333	40,667	27	987,333	0,0140	0,7359
$\sigma$		1	0,577	0,764	0	24,502	0,0006	0,0041
%e		0,577	0,333	0,441	0	14,146	0	0,0024
1	10:40a.m.	31	49	40	27	877	0,0148	0,7292
2	10:41a.m.	31	47	39	27	569	0,0211	0,6866
3	10:42a.m.	31	47	39	27	444	0,0270	0,6462
Promedio		31	47,667	39,333	27	630	0,0210	0,6873
$\sigma$		0	1,155	0,577	0	222,851	0,0006	0,0415
%e		0	0,667	0,333	0	128,664	0	0,0240



1	11:00a.m.	32	48	40	27	916	0,0142	0,7334
2	11:01a.m.	32	48	40	27	915	0,0142	0,7334
3	11:02a.m.	31	48	39,5	27	910	0,0144	0,7341
Promedio		31,667	48	39,833	27	935,333	0,0140	0,7344
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	3,214	0,0003	0,0018
%e		0,333	0	0,167	0	1,856	0,4235	0,0011
1	11:20a.m.	33	48	40,5	27	945	0,0143	0,7329
2	11:21a.m.	33	48	40,5	27	939	0,0144	0,7322
3	11:22a.m.	33	47	40	27	922	0,0141	0,7341
Promedio		33	47,667	40,333	27	935,333	0,0143	0,7331
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	11,930	0,0001	0,0010
%e		0	0,333	0,167	0	6,888	0	0,0006
1	11:40a.m.	32	47	39,5	27	838	0,0149	0,7286
2	11:41a.m.	33	47	40	27	865	0,0150	0,7278
3	11:42a.m.	33	47	40	27	901	0,0144	0,7319
Promedio		32,667	47	39,833	27	868	0,0148	0,7294
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	31,607	0,0003	0,0022
%e		0,333	0	0,167	0	18,248	0	0,0013
1	12:00p.m.	33	49	41	27	929	0,0150	0,7275
2	12:01p.m.	33	48	40,5	27	908	0,0149	0,7289
3	12:02p.m.	33	47	40	27	887	0,0147	0,7303
Promedio		33	48	40,5	27	908	0,0149	0,7289
$\sigma$		0	1	0,5	0	21	0,0002	0,0014
%e		0	0,577	0,289	0	12,124	0	0,0008
1	12:20p.m.	32	46	39	27	889	0,0135	0,7382
2	12:21p.m.	32	46	39	27	919	0,0131	0,7412
3	12:22p.m.	33	47	40	27	925	0,0141	0,7344
Promedio		32,333	46,333	39,333	27	911	0,0135	0,7379
$\sigma$		0,577	0,577	0,577	0	19,287	0,0005	0,0034
%e		0,333	0,333	0,333	0	11,136	0	0,0020
1	12:40p.m.	31	45	38	27	646	0,0170	0,7142
2	12:41p.m.	31	43	37	27	541	0,0185	0,7043
3	12:42p.m.	31	43	37	27	407	0,0246	0,6629
Promedio		31	43,667	37,333	27	531,333	0,0200	0,6938
$\sigma$		0	1,155	0,577	0	119,793	0,0040	0,0272
%e		0	0,667	0,333	0	69,162	0	0,0157
1	1:00p.m.	31	37	34	27	290	0,0241	0,6659

2	1:01p.m.	31	36	33,5	27	248	0,0262	0,6518
3	1:02p.m.	30	36	33	27	222	0,0270	0,6462
Promedio		30,667	36,333	33,5	27	253,333	0,0258	0,6546
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	34,312	0,0015	0,0101
%e		0,333	0,333	0,289	0	19,810	0	0,0058
1	1:20p.m.	31	43	37	27	781	0,0128	0,7429
2	1:21p.m.	30	43	36,5	27	777	0,0122	0,7466
3	1:22p.m.	31	43	37	27	760	0,0132	0,7405
Promedio		30,667	43	36,833	27	772,667	0,0127	0,7434
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	11,150	0,0004	0,0032
%e		0,333	0	0,167	0	6,438	0	0,0018
1	1:40p.m.	30	43	36,5	27	717	0,0133	0,7399
2	1:41p.m.	31	43	37	27	710	0,0141	0,7342
3	1:42p.m.	30	43	36,5	27	708	0,0134	0,7388
Promedio		30,333	43	36,667	27	711,667	0,0136	0,7376
$\sigma$		0,577	0	0,289	27	4,726	0,0004	0,0030
%e		0,333	0	0,167	0	2,728	0	0,0017
1	2:00p.m.	30	42	36	27	650	0,0138	0,7358
2	2:01p.m.	30	42	36	27	597	0,0151	0,7275
3	2:02p.m.	30	42	36	27	588	0,0153	0,7259
Promedio		30	42	36	27	611,667	0,0147	0,7298
$\sigma$		0	0	0	0	33,501	0,0008	0,0053
%e		0	0	0	0	14,146	0	0,0031

**A11. TABLA DE DATOS COLECTORES DE PLACA PLANA  
CONECTADOS EN PARALELO DÍA 2.**

Fecha:	17/02/2015				
Hora	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$T_t$ [°C]	$T_a$ [°C]	H [w/m <sup>2</sup> ]
10:00a.m.	34	48	44	26	936
10:01a.m.	34	48	44	26	922
10:02a.m.	34	48	44	26	930
10:20a.m.	34	48	44	26	970
10:21a.m.	33	48	44	26	989
10:22a.m.	33	49	44	26	991
10:40a.m.	33	47	44	26	945
10:41a.m.	33	48	44	26	957
10:42a.m.	33	48	43	26	963

11:00a.m.	34	48	43	26	954
11:01a.m.	34	47	43	26	952
11:02a.m.	33	48	43	26	955
11:20a.m.	34	49	44	26	940
11:21a.m.	34	47	43	26	941
11:22a.m.	34	49	44	26	944
11:40a.m.	34	50	44	26	1009
11:41a.m.	34	49	44	26	997
11:42a.m.	33	49	44	26	969
12:00p.m.	35	48	43	26	915
12:01p.m.	34	46	43	26	907
12:02p.m.	34	47	41	26	905
12:20p.m.	34	47	41	26	858
12:21p.m.	34	46	41	26	856
12:22p.m.	33	45	41	26	848
12:40p.m.	33	46	41	26	865
12:41p.m.	32	46	41	26	851
12:42p.m.	32	46	41	26	839
1:00p.m.	33	42	39	26	229
1:01p.m.	33	43	40	26	594
1:02p.m.	32	43	41	26	629
1:20p.m.	33	44	41	26	792
1:21p.m.	31	44	40	26	770
1:22p.m.	32	45	39	26	780
1:40p.m.	33	44	38	26	782
1:41p.m.	34	45	39	26	786
1:42p.m.	34	45	40	26	794
2:00p.m.	33	46	40	26	748
2:01p.m.	33	46	40	26	724
2:02p.m.	33	45	40	26	730

**Tabla A11.** Datos de los colectores de placa plana conectados en paralelo día 2.

**A11.1. TABLA DE CÁLCULOS COLECTORES DE PLACA PLANA  
CONECTADOS EN PARALELO DÍA 2.**

#	Hora	$T_e$	$T_s$	$T_m$	$T_a$	H	X	$\eta$
1	10:00a.m.	34	48	41	26	936	0,0160	0,7210
2	10:01a.m.	34	48	41	26	922	0,0163	0,7193
3	10:02a.m.	34	48	41	26	930	0,0161	0,7203
Promedio		34	48	41	26	929,333	0,0161	0,7202
$\sigma$		0	0	0	0	7,024	0,0001	0,0008
%e		0	0	0	0	4,055	0	0,0005

1	10:20a.m.	34	48	41	26	970	0,0155	0,7248
2	10:21a.m.	33	48	40,5	26	989	0,0147	0,7303
3	10:22a.m.	33	49	41	26	991	0,0151	0,7271
Promedio		33,333	48,333	40,833	26	983,33	0,0151	0,7274
$\sigma$		0,577	0,577	0,289	0	11,590	0,0004	0,0027
%e		0,333	0,333	0,167	0	6,692	0,0002	0,0016
1	10:40a.m.	33	47	40	26	945	0,0148	0,7292
2	10:41a.m.	33	48	40,5	26	957	0,0151	0,7270
3	10:42a.m.	33	48	40,5	26	963	0,0150	0,7276
Promedio		33	47,667	40,333	26	955	0,0150	0,7279
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	9,165	0,0002	0,0012
%e		0	0,333	0,167	0	5,291	0,0001	0,0007
1	11:00a.m.	34	48	41	26	954	0,0157	0,7231
2	11:01a.m.	34	47	40,5	26	952	0,0152	0,7264
3	11:02a.m.	33	48	40,5	26	955	0,0152	0,7267
Promedio		33,667	47,667	40,667	26	953,667	0,0154	0,7254
$\sigma$		0,577	0,577	0,289	0	1,527	0,0003	0,0020
%e		0,333	0,333	0,167	0	0,882	0,0002	0,0011
1	11:20a.m.	34	49	41,5	26	940	0,0165	0,7179
2	11:21a.m.	34	47	40,5	26	941	0,0154	0,7252
3	11:22a.m.	34	48	41,5	26	944	0,0164	0,7183
Promedio		34	48,333	41,667	26	941,667	0,0161	0,7204
$\sigma$		0	1,155	0,577	0	2,082	0,0006	0,0041
%e		0	0,667	0,333	0	1,202	0,0003	0,0023
1	11:40a.m.	34	50	42	26	1009	0,0158	0,7221
2	11:41a.m.	34	49	41,5	26	997	0,0155	0,7243
3	11:42a.m.	33	49	41	26	969	0,0154	0,7247
Promedio		33,667	49,333	41,5	26	991,667	0,0155	0,7237
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	20,526	0,0002	0,0014
%e		0,333	0,333	0,289	0	11,851	0,0001	0,0008
1	12:00p.m.	34	50	41,5	26	915	0,0169	0,7203
2	12:01p.m.	34	49	40	26	907	0,0154	0,7250
3	12:02p.m.	33	49	40,5	26	905	0,0160	0,7210
Promedio		34,333	47	40,667	26	909	0,0161	0,7203
$\sigma$		0,577	1	0,764	0	5,291	0,0007	0,0051
%e		0,333	0,577	0,441	0	3,055	0,0004	0,0003

1	12:20p.m.	34	47	40,5	26	858	0,0169	0,7151
2	12:21p.m.	34	46	40	26	856	0,0163	0,7188
3	12:22p.m.	33	45	39	26	848	0,0153	0,7257
Promedio		33,667	46	39,833	26	854	0,0162	0,7199
$\sigma$		0,577	1	0,764	0	5,291	0,0008	0,0054
%e		0,333	0,577	0,441	0	3,055	0,0005	0,0031
1	12:40p.m.	33	46	39,5	26	865	0,0156	0,7239
2	12:41p.m.	32	46	39	26	851	0,0152	0,7261
3	12:42p.m.	32	46	39	26	839	0,0155	0,7246
Promedio		32,333	46	39,167	26	851,667	0,0154	0,7249
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	13,013	0,0002	0,0011
%e		0,333	0	0,167	0	7,513	0,0001	0,0007
1	1:00p.m.	33	42	37,5	26	229	0,0502	0,4885
2	1:01p.m.	33	43	38	26	594	0,0202	0,6926
3	1:02p.m.	32	43	37,5	26	629	0,0183	0,7057
Promedio		32,667	42,667	37,667	26	484	0,0296	0,6289
$\sigma$		0,577	0,577	0,289	0	221,529	0,0179	0,1218
%e		0,333	0,333	0,167	0	127,900	0,0103	0,0703
1	1:20p.m.	33	44	38,5	26	792	0,0158	0,7227
2	1:21p.m.	31	44	37,5	26	770	0,0149	0,7284
3	1:22p.m.	32	45	38,5	26	780	0,0160	0,7210
Promedio		32	44,333	38,167	26	780,667	0,0156	0,7240
$\sigma$		1	0,577	0,577	0	11,015	0,0006	0,0039
%e		0,577	0,333	0,333	0	6,396	0,0003	0,0022
1	1:40p.m.	33	44	38,5	26	782	0,0160	0,7213
2	1:41p.m.	34	45	39,5	26	786	0,0172	0,7132
3	1:42p.m.	34	45	39,5	26	794	0,0170	0,7144
Promedio		33,667	44,667	39,167	26	787,333	0,0167	0,7169
$\sigma$		0,577	0,577	0,577	0	6,110	0,0007	0,0044
%e		0,333	0,333	0,333	0	3,528	0,0004	0,0025
1	2:00p.m.	33	46	39,5	26	748	0,0180	0,7073
2	2:01p.m.	33	46	39,5	26	724	0,0186	0,7032
3	2:02p.m.	33	45	39	26	730	0,0178	0,7089
Promedio		33	45,667	39,333	26	734	0,0182	0,7065
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	12,490	0,0004	0,0029
%e		0	0,333	0,167	0	7,211	0,0002	0,0017

**A12. TABLA DE DATOS COLECTORES DE PLACA PLANA CONECTADOS EN PARALELO DÍA 3.**

Fecha:	18/02/2015				
Hora	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$T_t$ [°C]	$T_a$ [°C]	H [w/m <sup>2</sup> ]
10:00a.m.	32	44	41	25	707
10:01a.m.	31	40	41	25	569
10:02a.m.	32	36	41	25	294
10:20a.m.	32	40	41	25	826
10:21a.m.	32	40	41	25	823
10:22a.m.	32	40	41	25	803
10:40a.m.	32	44	43	25	819
10:41a.m.	33	45	43	25	823
10:42a.m.	33	44	43	25	850
11:00a.m.	33	45	43	25	890
11:01a.m.	32	45	43	25	876
11:02a.m.	33	45	43	25	882
11:20a.m.	33	47	43	25	910
11:21a.m.	33	47	43	25	907
11:22a.m.	33	48	43	25	913
11:40a.m.	34	47	42	25	909
11:41a.m.	34	47	43	25	896
11:42a.m.	34	47	42	25	895
12:00p.m.	33	46	44	25	867
12:01p.m.	32	47	43	25	871
12:02p.m.	33	47	44	25	874
12:20p.m.	32	48	43	25	907
12:21p.m.	32	47	43	25	905
12:22p.m.	32	47	43	25	902
12:40p.m.	33	37	41	25	301
12:41p.m.	32	36	41	25	275
12:42p.m.	33	36	41	25	244
1:00p.m.	33	37	42	25	325
1:01p.m.	34	44	43	25	895
1:02p.m.	33	47	43	25	906
1:20p.m.	33	47	43	25	902
1:21p.m.	33	48	42	25	914
1:22p.m.	34	48	43	25	916
1:40p.m.	34	46	43	25	765
1:41p.m.	35	46	43	25	761
1:42p.m.	34	46	43	25	758
2:00p.m.	35	45	43	25	646
2:01p.m.	35	45	44	25	689

2:02p.m.	35	46	44	25	720
----------	----	----	----	----	-----

**Tabla A12.** Datos de los colectores de placa plana conectados en paralelo día 3.

**A12.1. TABLA DE CÁLCULOS COLECTORES DE PLACA PLANA  
CONECTADOS EN PARALELO DÍA 3.**

#	Hora	T <sub>e</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>a</sub>	H	X	η
1	10:00a.m.	32	44	38	25	707	0,0184	0,7050
2	10:01a.m.	31	40	35,5	25	569	0,0185	0,7045
3	10:02a.m.	32	37	34	25	294	0,0306	0,6218
Promedio		31,667	40	35,833	25	523,333	0,0225	0,6771
σ		0,577	4	2,021	0	210,253	0,0070	0,0479
%e		0,333	2,309	1,167	0	121,390	0,0041	0,0276
1	10:20a.m.	32	40	36	25	826	0,0133	0,7394
2	10:21a.m.	32	40	36	25	823	0,0134	0,7391
3	10:22a.m.	32	40	36	25	803	0,0137	0,7368
Promedio		32	40	36	25	817,333	0,0135	0,7385
σ		0	0	0	0	12,503	0,0002	0,0014
%e		0	0	0	0	7,219	0,0001	0,0008
1	10:40a.m.	32	44	38	25	819	0,0159	0,7221
2	10:41a.m.	33	45	39	25	823	0,0170	0,7143
3	10:42a.m.	33	44	38,5	25	850	0,0159	0,7220
Promedio		32,667	44,333	38,5	25	830,667	0,0162	0,7195
σ		0,577	0,577	0,5	0	16,862	0,0006	0,0044
%e		0,333	0,333	0,289	0	9,735	0,0004	0,0026
1	11:00a.m.	33	45	39	25	890	0,0157	0,7230
2	11:01a.m.	32	45	38,5	25	876	0,0154	0,7252
3	11:02a.m.	33	45	39	25	882	0,0159	0,7220
Promedio		32,667	45	38,833	25	882,667	0,0157	0,7234
σ		0,577	0	0,289	0	7,024	0,0002	0,0016
%e		0,333	0	0,167	0	4,055	0,0001	0,0009
1	11:20a.m.	33	47	40	25	910	0,0165	0,7179
2	11:21a.m.	33	47	40	25	907	0,0165	0,7175
3	11:22a.m.	33	48	40,5	25	913	0,0170	0,7145
Promedio		33	47,333	40,167	25	910	0,0167	0,7167
σ		0	0,577	0,289	0	3	0,0003	0,0018
%e		0	0,333	0,167	0	1,732	0,0002	0,0011

1	11:40a.m.	34	47	40,5	25	909	0,0170	0,7140
2	11:41a.m.	34	47	40,5	25	896	0,0173	0,7124
3	11:42a.m.	34	47	40,5	25	895	0,0173	0,7122
Promedio		34	47	40,5	25	900	0,0172	0,7129
$\sigma$		0	0	0	0	7,810	0,0001	0,0010
%e		0	0	0	0	4,509	0	0,0006
1	12:00p.m.	33	46	39,5	25	867	0,0167	0,7162
2	12:01p.m.	32	47	39,5	25	871	0,0166	0,7168
3	12:02p.m.	33	47	40	25	874	0,0172	0,7133
Promedio		32,667	46,667	39,667	25	870,667	0,0168	0,7154
$\sigma$		0,577	0,577	0,289	0	3,512	0,0003	0,0019
%e		0,333	0,333	0,167	0	2,027	0,0002	0,0011
1	12:20p.m.	32	48	40	25	907	0,0165	0,7175
2	12:21p.m.	32	47	39,5	25	905	0,0160	0,7210
3	12:22p.m.	32	47	39,5	25	902	0,0161	0,7207
Promedio		32	47,333	39,667	25	904,667	0,0162	0,7197
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	2,517	0,0003	0,0019
%e		0	0,333	0,164	0	1,453	0,0002	0,0011
1	12:40p.m.	33	38	35	25	301	0,0332	0,6041
2	12:41p.m.	32	37	34	25	275	0,0327	0,6074
3	12:42p.m.	33	37	34,5	25	244	0,0389	0,5652
Promedio		32,667	36,333	34,5	25	273,333	0,0350	0,5923
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	28,536	0,0034	0,0234
%e		0,333	0,333	0,289	0	16,475	0,0020	0,0135
1	1:00p.m.	33	38	35	25	325	0,0308	0,6208
2	1:01p.m.	34	44	39	25	895	0,0156	0,7236
3	1:02p.m.	33	47	40	25	906	0,0165	0,7174
Promedio		33,333	42,667	38	25	708,667	0,0210	0,6873
$\sigma$		0,577	5,132	2,646	0	332,310	0,0085	0,0577
%e		0,333	2,963	1,527	0	191,860	0,0049	0,0333
1	1:20p.m.	33	47	40	25	902	0,0166	0,7169
2	1:21p.m.	33	48	40,5	25	914	0,0169	0,7147
3	1:22p.m.	34	48	41	25	916	0,0175	0,7112
Promedio		33,333	47,667	40,5	25	910,667	0,0170	0,7142
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	7,572	0,0004	0,0029
%e		0,333	0,333	0,289	0	4,372	0,0002	0,0017



1	1:40p.m.	34	46	40	25	765	0,0196	0,6967
2	1:41p.m.	35	46	40,5	25	761	0,0204	0,6915
3	1:42p.m.	34	46	40	25	758	0,0198	0,6954
Promedio		34,333	46	40,167	25	761,333	0,0199	0,6945
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	3,511	0,0004	0,0027
%e		0,333	0	0,167	0	2,027	0,0002	0,0015
1	2:00p.m.	35	45	40	25	646	0,0232	0,6721
2	2:01p.m.	35	45	40	25	689	0,0218	0,6819
3	2:02p.m.	35	46	40,5	25	720	0,0215	0,6836
Promedio		35	45,333	40,167	25	685	0,0221	0,6792
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	37,162	0,0009	0,0062
%e		0	0,333	0,164	0	21,455	0,0005	0,0036

**A13. TABLA DE DATOS COLECTOR CON SERPENTÍN DE ACERO  
INOXIDABLE CON ROTACIÓN A 30° SURESTE.**

Fecha:	21/02/2015				
Hora	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$T_t$ [°C]	$T_a$ [°C]	H [w/m <sup>2</sup> ]
10:00a.m.	32	40	41	24	792
10:01a.m.	32	40	41	24	789
10:02a.m.	32	39	41	24	787
10:20a.m.	32	40	42	24	802
10:21a.m.	33	42	42	24	812
10:22a.m.	33	42	42	24	817
10:40a.m.	32	38	41	24	678
10:41a.m.	33	38	41	24	707
10:42a.m.	33	39	41	24	723
11:00a.m.	33	39	41	24	754
11:01a.m.	32	39	41	24	758
11:02a.m.	33	39	41	24	759
11:20a.m.	33	40	42	24	802
11:21a.m.	33	40	42	24	805
11:22a.m.	33	40	42	24	811
11:40a.m.	32	37	40	24	505
11:41a.m.	32	38	40	24	507
11:42a.m.	32	38	40	24	508
12:00p.m.	33	43	41	24	967
12:01p.m.	33	43	42	24	970

12:02p.m.	34	43	42	24	972
-----------	----	----	----	----	-----

**Tabla A13.** Datos del colector con serpentín de acero inoxidable con rotación a 30° sureste.

**A13.1 TABLA DE CÁLCULOS COLECTOR CON SERPENTÍN DE ACERO INOXIDABLE CON ROTACIÓN A 30° SURESTE.**

#	Hora	T <sub>e</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>a</sub>	H	X	$\eta$
1	10:00a.m.	32	40	36	24	792	0,0151	0,7270
2	10:01a.m.	32	40	36	24	789	0,0152	0,7266
3	10:02a.m.	32	39	35,5	24	787	0,0146	0,7306
Promedio		32	39,667	35,833	24	789,333	0,0149	0,7281
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	2,517	0,0003	0,0022
%e		0	0,333	0,167	0	1,453	0,0002	0,0013
1	10:20a.m.	32	40	36	24	802	0,0149	0,7282
2	10:21a.m.	33	42	37,5	24	812	0,0166	0,7169
3	10:22a.m.	33	42	37,5	24	817	0,0165	0,7176
Promedio		32,667	41,333	37	24	810,333	0,0160	0,7209
$\sigma$		0,577	1,155	0,866	0	7,638	0,0009	0,0063
%e		0,333	0,667	0,5	0	4,410	0,0005	0,0037
1	10:40a.m.	32	38	35	24	678	0,0162	0,7197
2	10:41a.m.	33	38	35,5	24	707	0,0163	0,7194
3	10:42a.m.	33	39	36	24	723	0,0166	0,7171
Promedio		32,667	38,333	35,5	24	702,667	0,0164	0,7187
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	22,811	0,0004	0,0014
%e		0,333	0,333	0,289	0	13,170	0,0001	0,0008
1	11:00a.m.	33	39	36	24	754	0,0159	0,7218
2	11:01a.m.	32	39	35,5	24	758	0,0152	0,7268
3	11:02a.m.	33	39	36	24	759	0,0158	0,7225
Promedio		32,667	39	35,833	24	757	0,0156	0,7237
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	2,646	0,0004	0,0027
%e		0,333	0	0,167	0	1,527	0,0002	0,0016
1	11:20a.m.	33	40	36,5	24	802	0,0156	0,7240
2	11:21a.m.	33	40	36,5	24	805	0,0155	0,7244
3	11:22a.m.	33	40	36,5	24	811	0,0154	0,7252
Promedio		33	40	0	24	806	0,0155	0,7245
$\sigma$		0	0	0	0	4,582	0,00009	0,0006
%e		0	0	0	0	2,646	0,00005	0,0003

1	11:40a.m.	32	37	34,5	24	505	0,0208	0,6886
2	11:41a.m.	32	38	35	24	507	0,0217	0,6825
3	11:42a.m.	32	38	35	24	508	0,0216	0,6827
Promedio		32	37,667	34,833	24	506,667	0,0214	0,6846
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	1,527	0,0005	0,0035
%e		0	0,333	0,167	0	0,882	0,0003	0,0020
1	12:00p.m.	33	43	38	24	967	0,0145	0,7315
2	12:01p.m.	33	43	38	24	970	0,0144	0,7318
3	12:02p.m.	34	43	38,5	24	972	0,0149	0,7285
Promedio		33,333	43	38,167	24	969,667	0,0146	0,7306
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	2,517	0,0003	0,0018
%e		0,333	0	0,167	0	1,453	0,0002	0,0010

**A14. TABLA DE DATOS COLECTOR CON SERPENTÍN DE COBRE A 30°  
INCLINACIÓN SURESTE.**

Fecha:	21/02/2015				
Hora	T <sub>e</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>t</sub> [°C]	T <sub>a</sub> [°C]	H [w/m <sup>2</sup> ]
12:20p.m.	32	37	40	24	615
12:21p.m.	33	38	40	24	820
12:22p.m.	34	40	41	24	1021
12:40p.m.	33	40	41	24	911
12:41p.m.	33	39	41	24	890
12:42p.m.	33	39	41	24	889
1:00p.m.	34	41	40	24	1026
1:01p.m.	34	43	41	24	1049
1:02p.m.	34	42	41	24	1056
1:20p.m.	33	42	41	24	1037
1:21p.m.	33	41	41	24	1030
1:22p.m.	34	41	41	24	1031
1:40p.m.	34	39	41	24	994
1:41p.m.	34	39	41	24	991
1:42p.m.	34	39	41	24	989
2:00p.m.	33	37	38	24	500
2:01p.m.	33	37	37	24	493
2:02p.m.	33	36	37	24	360
2.20p.m.	33	37	39	24	882
2:21p.m.	34	38	39	24	889

2.22p.m.	34	38	39	24	890
----------	----	----	----	----	-----

**Tabla A14.** Datos del colector con serpentín de cobre con rotación a 30° sureste.

**A14.1 TABLA DE CÁLCULOS COLECTOR CON SERPENTÍN DE COBRE CON ROTACIÓN A 30° SURESTE.**

#	Hora	T <sub>e</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>a</sub>	H	X	$\eta$
1	12:20p.m.	32	37	34,5	24	615	0,0171	0,7139
2	12:21p.m.	33	38	35,5	24	820	0,0140	0,7346
3	12:22p.m.	34	40	37	24	1021	0,0127	0,7434
Promedio		33	38,333	35,667	24	818,667	0,0146	0,7306
$\sigma$		1	1,527	1,258	0	203,003	0,0022	0,0152
%e		0,577	0,882	0,726	0	117,204	0,0013	0,0087
1	12:40p.m.	33	40	36,5	24	911	0,0137	0,7367
2	12:41p.m.	33	39	36	24	890	0,0135	0,7383
3	12:42p.m.	33	39	36	24	889	0,0135	0,7382
Promedio		33	39,333	36,167	24	896,667	0,0136	0,7377
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	12,423	0,0001	0,0009
%e		0	0,333	0,167	0	7,172	0,00008	0,0005
1	1:00p.m.	34	41	37,5	24	1026	0,0131	0,7405
2	1:01p.m.	34	43	38,5	24	1049	0,0138	0,7360
3	1:02p.m.	34	42	38	24	1056	0,0132	0,7398
Promedio		34	42	38	24	1043,667	0,0134	0,7388
$\sigma$		0	1	0,5	0	15,695	0,0004	0,0024
%e		0	0,577	0,289	0	9,061	0,0002	0,0014
1	1:20p.m.	33	42	37,5	24	1037	0,0130	0,7415
2	1:21p.m.	33	41	37	24	1030	0,0126	0,7442
3	1:22p.m.	34	41	37,5	24	1031	0,0131	0,7410
Promedio		33,333	41,333	37,333	24	1032,667	0,0129	0,7422
$\sigma$		0,577	0,577	0,289	0	3,786	0,0002	0,0017
%e		0,333	0,333	0,167	0	2,186	0,0001	0,0010
1	1:40p.m.	34	39	36,5	24	994	0,0126	0,7445
2	1:41p.m.	34	39	36,5	24	991	0,0126	0,7442
3	1:42p.m.	34	39	36,5	24	989	0,0126	0,7440
Promedio		34	39	36,5	24	991,333	0,0126	0,7442
$\sigma$		0	0	0	0	2,517	0	0,0002
%e		0	0	0	0	1,453	0	0,0001
1	2:00p.m.	33	37	35	24	500	0,0220	0,6804

2	2:01p.m.	33	37	35	24	493	0,0223	0,6783
3	2:02p.m.	33	36	34,5	24	360	0,0292	0,6317
Promedio		33	36,667	34,833	24	451	0,0245	0,6634
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	78,886	0,0041	0,0275
%e		0	0,333	0,167	0	45,545	0,0023	0,0159
1	2:20p.m.	33	37	35	24	882	0,0125	0,7452
2	2:21p.m.	34	38	36	24	889	0,0135	0,7382
3	2:22p.m.	34	38	36	24	890	0,0135	0,7383
Promedio		33,667	37,667	35,667	24	887	0,0132	0,7406
$\sigma$		0,577	0,577	0,577	0	4,359	0,0006	0,0040
%e		0,333	0,333	0,333	0	2,517	0,0003	0,0023

**A15. TABLA DE DATOS COLECTOR DE TUBOS AL VACÍO CON ROTACIÓN A 30° SURESTE.**

Fecha:	21/02/2015			
Hora	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$T_a$ [°C]	H[w/m <sup>2</sup> ]
10:00a.m.	29	58	24	792
10:01a.m.	30	58	24	789
10:02a.m.	30	57	24	787
10:20a.m.	30	59	24	802
10:21a.m.	30	60	24	812
10:22a.m.	30	57	24	817
10:40a.m.	28	55	24	678
10:41a.m.	28	57	24	707
10:42a.m.	29	58	24	723
11:00a.m.	30	58	24	754
11:01a.m.	30	58	24	758
11:02a.m.	30	58	24	759
11:20a.m.	31	60	24	802
11:21a.m.	31	60	24	805
11:22a.m.	31	61	24	811
11:40a.m.	29	54	24	505
11:41a.m.	29	54	24	507
11:42a.m.	29	54	24	508
12:00p.m.	31	60	24	967
12:01p.m.	30	61	24	970
12:02p.m.	30	61	24	972

12:20p.m.	30	56	24	615
12:21p.m.	31	58	24	820
12:22p.m.	30	62	24	1021
12:40p.m.	31	60	24	911
12:41p.m.	29	58	24	890
12:42p.m.	29	58	24	889
1:00p.m.	30	61	24	1026
1:01p.m.	31	62	24	1049
1:02p.m.	31	63	24	1056
1:20p.m.	30	62	24	1037
1:21p.m.	31	61	24	1030
1:22p.m.	31	61	24	1031
1:40p.m.	30	59	24	994
1:41p.m.	30	59	24	991
1:42p.m.	30	58	24	989
2:00p.m.	29	47	24	500
2:01p.m.	28	46	24	493
2:02p.m.	31	45	24	360
2:20p.m.	30	49	24	882
2:21p.m.	30	49	24	889
2:22p.m.	30	50	24	891

**Tabla A15.** Datos del colector de tubos al vacío con rotación a 30° sureste.

**A15.1. TABLA DE CÁLCULOS COLECTOR DE TUBOS AL VACÍO CON ROTACIÓN A 30° SURESTE.**

#	Hora	$T_e$	$T_s$	$T_m$	$T_a$	H	X	$\eta$
1	10:00a.m.	29	58	43,5	24	792	0,0246	0,6626
2	10:01a.m.	30	58	44	24	789	0,0253	0,6576
3	10:02a.m.	30	57	43,5	24	787	0,0248	0,6615
Promedio		29,667	57,667	43,667	24	789,333	0,0249	0,6606
$\sigma$		0,577	0,577	0,288	0	2,517	0,0004	0,0026
%e		0,333	0,333	0,167	0	1,453	0,0002	0,0015
1	10:20a.m.	30	59	44,5	24	802	0,0256	0,6562
2	10:21a.m.	30	60	45	24	812	0,0259	0,6541
3	10:22a.m.	30	57	43,5	24	817	0,0239	0,6677
Promedio		30	58,667	43,333	24	810,333	0,0249	0,6593
$\sigma$		0	1,527	0,764	0	7,638	0,0011	0,0073
%e		0	0,882	0,441	0	4,409	0,0006	0,0042
1	10:40a.m.	28	55	41,5	24	678	0,0258	0,6545
2	10:41a.m.	28	57	42,5	24	707	0,0262	0,6521

3	10:42a.m.	29	58	43,5	24	723	0,0270	0,6466
Promedio		28,333	56,667	42,5	24	702,667	0,0263	0,6510
$\sigma$		0,577	1,527	1	0	22,811	0,0006	0,0040
%e		0,333	0,882	0,577	0	13,170	0,0003	0,0023
1	11:00a.m.	30	58	44	24	754	0,0265	0,6496
2	11:01a.m.	30	58	44	24	758	0,0264	0,6506
3	11:02a.m.	30	58	44	24	759	0,0263	0,6508
Promedio		30	58	44	24	757	0,0264	0,6503
$\sigma$		0	0	0	0	2,646	0,00009	0,0006
%e		0	0	0	0	1,527	0,00005	0,0003
1	11:20a.m.	31	60	45,5	24	802	0,0268	0,6477
2	11:21a.m.	31	60	45,5	24	805	0,0267	0,6484
3	11:22a.m.	31	61	46	24	811	0,0271	0,6455
Promedio		31	60,333	45,667	24	806	0,0269	0,6472
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	4,582	0,0002	0,0014
%e		0	0,333	0,167	0	2,646	0,0001	0,0008
1	11:40a.m.	29	54	41,5	24	505	0,0346	0,5943
2	11:41a.m.	29	54	41,5	24	507	0,0345	0,5953
3	11:42a.m.	29	54	41,5	24	508	0,0344	0,5957
Promedio		29	54	41,5	24	506,667	0,0345	0,5951
$\sigma$		0	0	0	0	1,527	0,0001	0,0007
%e		0	0	0	0	0,882	0,00006	0,0004
1	12:00p.m.	31	60	45,5	24	967	0,0222	0,6788
2	12:01p.m.	30	61	45,5	24	970	0,0222	0,6793
3	12:02p.m.	30	61	45,5	24	972	0,0221	0,6796
Promedio		30,333	60,667	45,5	24	969,667	0,0221	0,6792
$\sigma$		0,577	0,577	0	0	2,517	0,00006	0,0004
%e		0,333	0,333	0	0	1,453	0,00003	0,0002
1	12:20p.m.	30	56	43	24	615	0,0309	0,6199
2	12:21p.m.	31	58	44,5	24	820	0,025	0,66
3	12:22p.m.	30	62	46	24	1021	0,0215	0,6835
Promedio		30,333	58,667	44,5	24	818,667	0,0258	0,6545
$\sigma$		0,577	3,055	1,5	0	203,003	0,0047	0,0321
%e		0,333	1,764	0,866	0	117,204	0,0027	0,0185
1	12:40p.m.	31	60	45,5	24	911	0,0236	0,6695
2	12:41p.m.	29	58	43,5	24	890	0,0219	0,6810
3	12:42p.m.	29	58	43,5	24	889	0,0219	0,6808

Promedio		29,667	58,667	44,167	24	896,667	0,0225	0,6771
$\sigma$		1,155	1,155	1,155	0	12,423	0,0009	0,0066
%e		0,667	0,667	0,667	0	7,172	0,0005	0,0038
1	1:00p.m.	30	61	45,5	24	1026	0,0209	0,6875
2	1:01p.m.	31	62	46,5	24	1049	0,0214	0,6841
3	1:02p.m.	31	63	47	24	1056	0,0218	0,6819
Promedio		30,667	62	46,333	24	1043,667	0,0214	0,6845
$\sigma$		0,577	1	0,764	0	15,695	0,0004	0,0028
%e		0,333	0,577	0,441	0	9,061	0,0002	0,0016
1	1:20p.m.	30	62	46	24	1037	0,0212	0,6857
2	1:21p.m.	31	61	46	24	1030	0,0213	0,6847
3	1:22p.m.	31	61	46	24	1031	0,0213	0,6849
Promedio		30,667	61,333	46	24	1032,667	0,0213	0,6851
$\sigma$		0,577	0,577	0	0	3,786	0,00008	0,0005
%e		0,333	0,333	0	0	2,186	0,00004	0,0003
1	1:40p.m.	30	59	44,5	24	994	0,0206	0,6897
2	1:41p.m.	30	59	44,5	24	991	0,0207	0,6893
3	1:42p.m.	30	58	44	24	989	0,0202	0,6925
Promedio		30	58,667	44,333	24	991,333	0,0205	0,6905
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	2,517	0,0002	0,0017
%e		0	0,333	0,167	0	1,453	0,0001	0,0010
1	2:00p.m.	29	47	38	24	500	0,028	0,6396
2	2:01p.m.	28	46	37	24	493	0,0264	0,6507
3	2:02p.m.	31	45	38	24	360	0,0389	0,5655
Promedio		29,333	46	37,667	24	451	0,0311	0,6187
$\sigma$		1,527	1	0,577	0	78,886	0,00068	0,0463
%e		0,882	0,577	0,333	0	45,545	0,0039	0,0267
1	2:20p.m.	30	49	39,5	24	882	0,0176	0,7105
2	2:21p.m.	30	49	39,5	24	889	0,0174	0,7114
3	2:22p.m.	30	50	40	24	891	0,0179	0,7079
Promedio		30	49,333	39,667	24	887,333	0,0176	0,7099
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	4,726	0,0003	0,00018
%e		0	0,333	0,167	0	2,728	0,0001	0,0011

**A16. TABLA DE DATOS COLECTOR CON SERPENTÍN DE ACERO INOXIDABLE CON ROTACIÓN A 60° SURESTE.**



Fecha:	22/02/2015				
Hora	T <sub>e</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>t</sub> [°C]	T <sub>a</sub> [°C]	H [w/m <sup>2</sup> ]
10:00a.m.	33	51	42	27	803
10:01a.m.	34	52	41	27	808
10:02a.m.	33	53	41	27	810
10:20a.m.	32	51	41	27	714
10:21a.m.	31	49	41	27	641
10:22a.m.	32	49	41	27	697
10:40a.m.	31	45	41	27	376
10:41a.m.	30	45	40	27	389
10:42a.m.	30	46	40	27	433
11:00a.m.	33	49	41	27	871
11:01a.m.	32	50	41	27	853
11:02a.m.	32	51	41	27	881
11:20a.m.	32	50	41	27	823
11:21a.m.	33	48	41	27	797
11:22a.m.	32	49	41	27	805
11:40a.m.	32	48	40	27	753
11:41a.m.	33	49	40	27	756
11:42a.m.	33	48	40	27	752
12:00p.m.	33	51	42	27	894
12:01p.m.	33	50	41	27	863
12:02p.m.	33	48	40	27	745

**TablaA16.** Datos del colector con serpentín de acero inoxidable con rotación a 60° sureste.

**A16.1. TABLA DE CÁLCULOS COLECTOR CON SERPENTÍN DE ACERO INOXIDABLE CON ROTACIÓN A 60° SURESTE.**

#	Hora	T <sub>e</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>a</sub>	H	X	$\eta$
1	10:00a.m.	33	51	42	27	803	0,0187	0,7030
2	10:01a.m.	34	52	43	27	808	0,0198	0,6953
3	10:02a.m.	33	53	43	27	810	0,0197	0,6957
Promedio		33,333	52	42,667	27	807	0,0194	0,6980
$\sigma$		0,577	1	0,577	0	3,605	0,0006	0,0043
%e		0,333	0,577	0,333	0	2,082	0,0004	0,0025
1	10:20a.m.	32	51	41,5	27	714	0,0203	0,6919
2	10:21a.m.	31	49	40	27	641	0,0203	0,6921
3	10:22a.m.	32	49	40,5	27	697	0,0194	0,6983
Promedio		31,667	49,667	40,667	27	684	0,0199	0,6941
$\sigma$		0,577	1,155	0,764	0	38,197	0,0005	0,0036
%e		0,333	0,667	0,441	0	22,052	0,0003	0,0021

1	10:40a.m.	31	45	38	27	376	0,0292	0,6311
2	10:41a.m.	30	45	37,5	27	389	0,0270	0,6464
3	10:42a.m.	30	46	38	27	433	0,0254	0,6572
Promedio		30,333	45,333	37,833	27	399,333	0,0272	0,6449
$\sigma$		0,577	0,577	0,289	0	29,872	0,0019	0,0132
%e		0,333	0,333	0,167	0	17,246	0,0011	0,0076
1	11:00a.m.	33	49	41	27	871	0,0161	0,7207
2	11:01a.m.	32	50	41	27	853	0,0164	0,7184
3	11:02a.m.	32	51	41,5	27	881	0,0164	0,7181
Promedio		32,333	50	41,167	27	868,333	0,0163	0,7191
$\sigma$		0,577	1	0,289	0	14,189	0,0002	0,0014
%e		0,333	0,577	0,167	0	8,192	0,0001	0,0008
1	11:20a.m.	32	50	41	27	823	0,0170	0,7143
2	11:21a.m.	33	48	40,5	27	797	0,0169	0,7148
3	11:22a.m.	32	49	40,5	27	805	0,0168	0,7159
Promedio		32,333	49	40,667	27	808,333	0,0169	0,7150
$\sigma$		0,577	1	0,289	0	13,317	0,0001	0,0008
%e		0,333	0,577	0,167	0	7,688	0,00007	0,0005
1	11:40a.m.	32	48	40	27	753	0,0173	0,7126
2	11:41a.m.	33	49	41	27	756	0,0185	0,7041
3	11:42a.m.	33	48	40,5	27	752	0,0179	0,7079
Promedio		32,667	48,333	40,5	27	753,667	0,0179	0,7082
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	2,082	0,0006	0,0043
%e		0,333	0,333	0,289	0	1,202	0,0004	0,0025
1	12:00p.m.	33	51	42	27	894	0,0168	0,7159
2	12:01p.m.	33	50	41,5	27	863	0,0168	0,7157
3	12:02p.m.	33	48	40,5	27	745	0,0181	0,7068
Promedio		33	49,667	41,333	27	834	0,0172	0,7128
$\sigma$		0	1,527	0,764	0	78,619	0,0008	0,0052
%e		0	0,882	0,441	0	45,391	0,0004	0,0030

**A17. TABLA DE DATOS COLECTOR CON SERPENTÍN DE COBRE CON ROTACIÓN A 60° SURESTE.**

Fecha:	22/02/2015				
Hora	$T_e$ [°C]	$T_s$ [°C]	$T_t$ [°C]	$T_a$ [°C]	H [w/m <sup>2</sup> ]

12:20p.m.	34	43	39	27	863
12:21p.m.	34	42	39	27	823
12:22p.m.	33	41	39	27	771
12:40p.m.	33	42	41	27	964
12:41p.m.	32	44	42	27	842
12:42p.m.	34	43	41	27	823
1:00p.m.	35	43	40	27	794
1:01p.m.	32	44	41	27	673
1:02p.m.	34	41	41	27	728
1:20p.m.	29	43	40	27	789
1:21p.m.	28	42	41	27	786
1:22p.m.	28	43	41	27	783
1:40p.m.	31	44	40	27	836
1:41p.m.	31	42	41	27	837
1:42p.m.	31	43	42	27	838
2:00p.m.	31	43	40	27	847
2:01p.m.	31	44	41	27	856
2:02p.m.	32	42	40	27	854
2.20p.m.	31	43	41	27	846
2:21p.m.	32	44	42	27	836
2.22p.m.	32	44	42	27	810

**TablaA17.** Datos del colector con serpentín de cobre con rotación a 60° sureste.

**A17.1. TABLA DE CÁLCULOS COLECTOR CON SERPENTÍN DE COBRE CON ROTACIÓN A 60° SURESTE.**

#	Hora	T <sub>e</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>a</sub>	H	X	$\eta$
1	12:20p.m.	34	43	38,5	27	863	0,0133	0,7394
2	12:21p.m.	34	42	38	27	823	0,0134	0,7391
3	12:22p.m.	33	41	37	27	771	0,0130	0,7418
Promedio		33,667	42	37,833	27	819	0,0132	0,7401
$\sigma$		0,577	1	0,764	0	46,130	0,0002	0,0015
%e		0,333	0,577	0,441	0	26,633	0,0001	0,0008
1	12:40p.m.	33	42	37,5	27	964	0,0109	0,7559
2	12:41p.m.	32	44	38	27	842	0,0131	0,7412
3	12:42p.m.	34	43	38,5	27	823	0,0140	0,7350
Promedio		33	43	38	27	876,333	0,0126	0,7440
$\sigma$		1	1	0,5	0	76,514	0,0016	0,0108
%e		0,577	0,577	0,289	0	44,175	0,0009	0,0062
1	1:00p.m.	35	43	39	27	794	0,0151	0,7272
2	1:01p.m.	32	44	38	27	673	0,0163	0,7188

3	1:02p.m.	34	41	37,5	27	728	0,0144	0,7319
Promedio		33,667	42,667	38,167	27	731,667	0,0153	0,7260
$\sigma$		1,527	1,527	0,764	0	60,583	0,0009	0,0066
%e		0,882	0,882	0,441	0	34,978	0,0006	0,0038
1	1:20p.m.	29	43	36	27	789	0,0114	0,7524
2	1:21p.m.	28	42	35	27	786	0,0102	0,7608
3	1:22p.m.	28	43	35,5	27	783	0,0108	0,7562
Promedio		28,333	42,667	35,5	27	786	0,0108	0,7565
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	3	0,0006	0,0042
%e		0,333	0,333	0,289	0	1,732	0,0003	0,0024
1	1:40p.m.	31	44	37,5	27	836	0,0125	0,7446
2	1:41p.m.	31	42	36,5	27	837	0,0113	0,7528
3	1:42p.m.	31	43	37	27	838	0,0119	0,7488
Promedio		31	43	37	27	837	0,0119	0,7487
$\sigma$		0	1	0,5	0	1	0,0006	0,0041
%e		0	0,577	0,289	0	0,577	0,0003	0,0024
1	2:00p.m.	31	43	37	27	847	0,0118	0,7497
2	2:01p.m.	31	44	37,5	27	856	0,0123	0,7466
3	2:02p.m.	32	42	37	27	854	0,0117	0,7504
Promedio		31,333	43	37,167	27	852,333	0,0119	0,7489
$\sigma$		0,577	1	0,289	0	4,726	0,0003	0,0020
%e		0,333	0,577	0,167	0	2,728	0,0002	0,0012
1	2:20p.m.	31	43	37	27	846	0,0118	0,7496
2	2:21p.m.	32	44	38	27	836	0,0131	0,7405
3	2:22p.m.	32	44	38	27	810	0,0136	0,7376
Promedio		31,667	43,667	37,667	27	830,667	0,0128	0,7426
$\sigma$		0,775	0,577	0,577	0	18,583	0,0009	0,0062
%e		0,333	0,333	0,333	0	10,729	0,0005	0,0036

**A18. TABLA DE DATOS COLECTOR DE TUBOS AL VACÍO CON ROTACIÓN A 60° SURESTE.**

Fecha:	21/02/2015			
Hora	T <sub>e</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>a</sub> [°C]	H[w/m <sup>2</sup> ]
10:00a.m.	27	60	27	803
10:01a.m.	28	61	27	808
10:02a.m.	28	62	27	810
10:20a.m.	28	60	27	714

10:21a.m.	28	59	27	641
10:22a.m.	28	60	27	697
10:40a.m.	26	53	27	376
10:41a.m.	26	54	27	389
10:42a.m.	27	55	27	433
11:00a.m.	28	58	27	871
11:01a.m.	28	58	27	853
11:02a.m.	28	60	27	881
11:20a.m.	29	59	27	823
11:21a.m.	29	57	27	797
11:22a.m.	29	58	27	805
11:40a.m.	27	57	27	753
11:41a.m.	27	57	27	756
11:42a.m.	27	57	27	752
12:00p.m.	29	60	27	894
12:01p.m.	28	59	27	863
12:02p.m.	28	56	27	745
12:20p.m.	28	58	27	863
12:21p.m.	29	58	27	823
12:22p.m.	28	57	27	771
12:40p.m.	29	61	27	964
12:41p.m.	27	58	27	842
12:42p.m.	27	58	27	823
1:00p.m.	28	58	27	794
1:01p.m.	29	56	27	673
1:02p.m.	29	56	27	728
1:20p.m.	28	57	27	789
1:21p.m.	29	57	27	786
1:22p.m.	29	57	27	783
1:40p.m.	28	58	27	836
1:41p.m.	28	58	27	837
1:42p.m.	28	58	27	838
2:00p.m.	27	58	27	847
2:01p.m.	26	58	27	856
2:02p.m.	29	58	27	854
2:20p.m.	30	58	27	846
2:21p.m.	30	58	27	836
2:22p.m.	30	57	27	810

**TablaA18.** Datos del colector de tubos al vacío con rotación a 60° sureste.

**A18.1. TABLA DE CÁLCULOS COLECTOR DE TUBOS AL VACÍO CON ROTACIÓN A 60° SURESTE.**

#	Hora	T <sub>e</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>a</sub>	H	X	$\eta$
1	10:00a.m.	27	60	43,5	27	803	0,0205	0,6903
2	10:01a.m.	28	61	44,5	27	808	0,0216	0,6827
3	10:02a.m.	28	62	45	27	810	0,0222	0,6789
Promedio		27,667	61	44,333	27	807	0,0215	0,6839
$\sigma$		0,577	1	0,764	0	3,605	0,0008	0,0058
%e		0,333	0,577	0,441	0	2,082	0,0005	0,0033
1	10:20a.m.	28	60	44	27	714	0,0238	0,6681
2	10:21a.m.	28	59	43,5	27	641	0,0257	0,6549
3	10:22a.m.	28	60	44	27	697	0,0244	0,6641
Promedio		28	59,667	43,833	27	684	0,0246	0,6624
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	38,197	0,0010	0,0067
%e		0	0,333	0,167	0	22,053	0,0005	0,0039
1	10:40a.m.	26	53	39,5	27	376	0,0332	0,6039
2	10:41a.m.	26	54	40	27	389	0,0334	0,6027
3	10:42a.m.	27	55	41	27	433	0,0323	0,6101
Promedio		26,333	54	40,167	27	399,333	0,0330	0,6056
$\sigma$		0,577	1	0,764	0	29,872	0,0006	0,0040
%e		0,333	0,577	0,441	0	17,246	0,0003	0,0023
1	11:00a.m.	28	58	43	27	871	0,0184	0,7051
2	11:01a.m.	28	58	43	27	853	0,0187	0,7024
3	11:02a.m.	28	60	44	27	881	0,0193	0,6988
Promedio		28	58,667	43,333	27	868,333	0,0188	0,7021
$\sigma$		0	1,155	0,577	0	14,189	0,0005	0,0032
%e		0	0,667	0,333	0	8,192	0,0003	0,0018
1	11:20a.m.	29	59	44	27	823	0,0206	0,6895
2	11:21a.m.	29	57	43	27	797	0,0201	0,6935
3	11:22a.m.	29	58	43,5	27	805	0,0205	0,6906
Promedio		29	58	43,5	27	808,333	0,0204	0,6912
$\sigma$		0	1	0,5	0	13,317	0,0003	0,0020
%e		0	0,577	0,289	0	7,688	0,0002	0,0012
1	11:40a.m.	27	57	42	27	753	0,0199	0,6945
2	11:41a.m.	27	57	42	27	756	0,0198	0,6951
3	11:42a.m.	27	57	42	27	752	0,0199	0,6944
Promedio		27	57	42	27	753,667	0,0199	0,6947
$\sigma$		0	0	0	0	2,082	0,00005	0,0004
%e		0	0	0	0	1,202	0,00003	0,0002

1	12:00p.m.	29	60	44,5	27	894	0,0196	0,6969
2	12:01p.m.	28	59	43,5	27	863	0,0191	0,6999
3	12:02p.m.	28	56	42	27	745	0,0201	0,6931
Promedio		28,333	58,333	43,333	27	834	0,0196	0,6966
$\sigma$		0,577	2,082	1,258	0	78,619	0,0005	0,0034
%e		0,333	1,202	0,726	0	45,391	0,0003	0,0020
1	12:20p.m.	28	58	43	27	863	0,0185	0,7039
2	12:21p.m.	29	58	43,5	27	823	0,0200	0,6937
3	12:22p.m.	28	57	42,5	27	771	0,0201	0,6933
Promedio		28,333	57,667	43	27	819	0,0196	0,6969
$\sigma$		0,577	0,577	0,5	0	46,130	0,0009	0,0060
%e		0,333	0,333	0,289	0	26,633	0,0005	0,0035
1	12:40p.m.	29	61	45	27	964	0,0187	0,7030
2	12:41p.m.	27	58	42,5	27	842	0,0184	0,7048
3	12:42p.m.	27	58	42,5	27	823	0,0188	0,7019
Promedio		27,667	59	43,333	27	876,333	0,0186	0,7033
$\sigma$		1,155	1,732	1,443	0	76,514	0,0002	0,0014
%e		0,667	1	0,833	0	44,175	0,0001	0,0008
1	1:00p.m.	28	58	43	27	794	0,0201	0,6929
2	1:01p.m.	29	56	42,5	27	673	0,0230	0,6734
3	1:02p.m.	29	56	42,5	27	728	0,0213	0,6852
Promedio		28,667	56,667	42,667	27	731,667	0,0215	0,6838
$\sigma$		0,577	1,155	0,289	0	60,583	0,0014	0,0099
%e		0,333	0,667	0,167	0	34,978	0,0008	0,0057
1	1:20p.m.	28	57	42,5	27	789	0,0196	0,6964
2	1:21p.m.	29	57	43	27	786	0,0203	0,6916
3	1:22p.m.	29	57	43	27	783	0,0204	0,6910
Promedio		28,667	57	42,833	27	786	0,0201	0,6930
$\sigma$		0,577	0	0,289	0	3	0,0004	0,0029
%e		0,333	0	0,167	0	1,732	0,0002	0,0017
1	1:40p.m.	28	58	43	27	836	0,0191	0,6998
2	1:41p.m.	28	58	43	27	837	0,0191	0,7
3	1:42p.m.	28	58	43	27	838	0,0191	0,7002
Promedio		28	58	43	27	837	0,0191	0,7
$\sigma$		0	0	0	0	1	0	0,0001
%e		0	0	0	0	0,577	0	0,00009
1	2:00p.m.	27	58	42,5	27	847	0,0183	0,7056

2	2:01p.m.	26	58	42	27	856	0,0175	0,7108
3	2:02p.m.	29	58	43,5	27	854	0,0193	0,6986
Promedio		27,333	58	42,667	27	852,333	0,0184	0,7050
$\sigma$		1,527	0	0,764	0	4,726	0,0009	0,0061
%e		0,882	0	0,441	0	2,728	0,0005	0,0035
1	2:20p.m.	30	58	44	27	846	0,0201	0,6933
2	2:21p.m.	30	58	44	27	836	0,0203	0,6917
3	2:22p.m.	30	57	43,5	27	810	0,0204	0,6915
Promedio		30	57,667	43,833	27	830,667	0,0203	0,6922
$\sigma$		0	0,577	0,289	0	18,583	0,0001	0,0010
%e		0	0,333	0,167	0	10,729	0,00009	0,0006

## BIBLIOGRAFÍA

[1] DE JUANA, José. Energías Renovables para el Desarrollo. Thomson Paraninfo. 2003. 309p.

[2] ROLDAN VILORIA, José. NECESIDADES ENERGETICAS Y PROPUESTAS DE INSTALACIONES SOLARES. Editorial Paraninfo. 2012. ISBN 8428332975.

[3] ORTEGA RODRIGUEZ, Mario. Energías Renovables. México: Thompson, 2002. 285p.

[4] HURTADO M, Alejandro. "Colectores Solares de Placa Plana". Bogotá, Colombia: Universidad Autónoma de Colombia.

[5] SEENERGY. Colector solar placa plana. [Citado el 03 de marzo del 2015]. Disponible en internet: <<http://www.seenergymexico.com/energia-solar-termica.php>>

[6] HECTH, Eugene. Óptica. Pearson. Tercera Edición. 2008.718p.

[7] CENSOLAR. Curso de Proyectista Instalador de Energía Solar. Tomo 3. Cap 3.1.3.3 España. 2008.

[8] DOMINI AMBIENTAL. Colector solar placa plana sin cubierta. [Citado el 3 de marzo del 2015]. Disponible en internet: <[http://www.dominiam biental.com/sp/solar\\_termica.asp](http://www.dominiam biental.com/sp/solar_termica.asp)>



- [9] MANRIQUE, José A. "Energía Solar". México: Editorial Harla S. A. 1984. p. 255. ISBN: 968-6034-54-4.
- [10] TERMOSOLAR. Colectores de placa plana. [Citado el 09 de diciembre de 2014]. Disponible en internet: < <http://www.termosolar.com/>>
- [11] SITIOSOLAR. Los colectores de tubos de vacío. [Citado el 06 de marzo de 2015]. Disponible en internet: <<http://www.sitiosolar.com/>>
- [12] Ajoever. Calentador de tubos al vacío. [Citado el 06 de marzo de 2015]. Disponible en internet: <<http://www.ajover.co/es/construccion/calentadores-solares-agua/calentador-solar-agua>>
- [13] Colector solar.[Citado 08 marzo de 2015] Disponible en internet: <<http://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/FAA/Solar%20termica2.pdf>>
- [14] GUEVARA, Sixto. Diseño del sistema de calentamiento solar de agua. Lima. Unidad de Apoyo Técnico para el saneamiento básico del área rural. 2003.
- [15] SALEH, Ahamd M, et al. Flat-Plate Solar Collector in Transient Operation: Modeling and Measurements. ASME paper No. TSEA-13-1208
- [16] MONTOYA P, Alberto, et al. Estudio de evaluación de eficiencia de un calentador solar de tubos al vacío con tanque acumulador, de la empresa D'SOL. Arequipa, Peru. Universidad Nacional de San Agustín. 2011.
- [17] RESEARCH AND MARKETS. Solar Water Heater (SMW) Market in India 2014-2018-Emerging Demand for HWHs. Regional Business News. No. bizwire c5847590.
- [18] CHABANE, Monia, et al. Effect or the water Storage Tank Coverage With an Outer Glass Tube on the Thermal Performance of an Integrated Collector Storage Solar Water Heater. ASME paper No. SOL-13-1246.
- [19] AMAYA DURÁN, Heizer y SOLANO DÍAZ, Luis Adalberto. Diseño, construcción y evaluación de un sistema de calentamiento de agua, con un arreglo en serie de colectores de placa plana, utilizando energía solar. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2014. 1 CD-ROM.
- [20] Ajoever. Esquema de funcionamiento de un calentador tubos al vacío. [Citado el 3 de marzo del 2015]. Disponible en internet: < [http://www.cyrgo.com.co/Catalogos/Tejas\\_Cubiertas/EcoManualInstalacionAjoever.pdf](http://www.cyrgo.com.co/Catalogos/Tejas_Cubiertas/EcoManualInstalacionAjoever.pdf)>.

