VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

UNIDAD DE GESTIÓN DE POSGRADOS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES
II PROMOCIÓN

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

TEMA:

"IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO PARA CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA EL SECTOR RURAL"

ELABORADO POR: ING CARLOS RAÚL TASIPANTA

DIRECTOR: MSc. PATRICIO COBA

Sangolquí-Ecuador
2015

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

El suscrito Tutor. Ing. Patricio Coba Unda, de nacionalidad Ecuatoriana, en calidad de Director de Tesis de la Maestría en Energías Renovables,

CERTIFICA

Que el presente proyecto de grado que lleva como título**, "IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO PARA CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA EL SECTOR RURAL"** realizado por el Ing. Carlos Raúl Tasipanta Suntasig , de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad No.0502408420 , como requisito para la obtención del título de Magíster en Energías Renovables**,** II Promoción de la ESPE, fue desarrollada bajo mi dirección y asesoría. La misma que cumple con los requerimientos científicos, tecnológicos y académicos, razón por la cual autorizo su presentación y defensa.

Sangolquí, 07 de abril del 2015

_____

MSc. Patricio Coba Unda.

DIRECTOR

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

"IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO PARA CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA EL SECTOR RURAL"

AUTOR:

CARLOS RAUL TASIPANTA SUNTASIG

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

_____	_____
MSc. ING. ALEXANDER IBARRA	MSc. ING. CARLOS NARANJO
COORDINADOR	**DIRECTOR DEL DECEM**

UNIDAD DE GESTIÓN DE POSGRADOS DE LA ESPE

_____

DRA. AMPARO MARTÍNEZ, PhD.

DIRECTORA DE LA UGP

Sangolquí – Ecuador

Abril 07, 2015

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

CARLOS RAUL TASIPANTA SUNTASIG

DECLARA QUE:

Este proyecto de investigación de posgrado, denominado "IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO PARA CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA EL SECTOR RURAL", ha sido elaborado con base a una investigación bibliográfica y técnica, respetando los derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al en las referencias bibliográficas, cuyas fuentes citadas, se incorporan en este documento.

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

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

Sangolquí, 07 Abril del 2015

_____

CARLOS RAÚL TASIPANTA SUNTASIG

AUTOR

AUTORIZACIÓN

Yo,

ING. CARLOS RAÚL TASIPANTA SUNTASIG

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, del artículo científico correspondiente al proyecto de investigación de posgrado denominado “IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO PARA CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA EL SECTOR RURAL”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 07 de Abril del 2015

_____

CARLOS RAUL TASIPANTA SUNTASIG

AUTOR

DEDICATORIA

A mi esposa María del Carmen y Tommy mi hijo, porque todo lo que soy se los debo a ellos. A mis padres por sus consejos y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

Y a todas las personas que me han apoyado y animado durante la maestría y la elaboración de esta tesis.

CARLOS RAUL TASIPANTA SUNTASIG

Quito, Abril 07 del 2015

AGRADECIMIENTOS

Quiero recordar y agradecer a todas las personas que de una forma u otra han hecho posible la finalización de esta tesis.
Gracias en primer lugar a mi familia, que ha sido mi mayor apoyo durante estos 3 años; a mis padres, por su paciencia y por su cariño incondicional.

Gracias a todas las personas de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, con las que he trabajado; gracias por haberme dejado la suficiente libertad para realizar esta investigación en los laboratorios de la ESPE, tema que ahora presento de tesis.
Y gracias a muchos otros profesores, con los que he podido hablar, de este y otros temas.

CARLOS RAUL TASIPANTA SUNTASIG
Quito, 07 de Abril del 2015

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO iii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD iv
AUTORIZACIÓN v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTOS vii
ÍNDICE DE CONTENIDO viii
ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE TABLAS xii
RESUMEN xiii
ABSTRACT xiv
CAPITULO I 1
GENERALIDADES 1
1.- ANTECEDENTES CIENTÍFICOS 1
2.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 2
3.- OBJETIVOS 3
3.1.- GENERAL 3
3.2.- ESPECÍFICOS 3
4.- ALCANCE DEL PROYECTO 3
5.- JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO 4
CAPITULO II 5
MARCO TEÓRICO 5
2.1 Análisis de radiación para cielo isótropo 5
2.2 Propiedades ópticas de los materiales grises y semitransparentes 6
2.3 Factor de remoción del calor para el colector en espiral 6
2.4 Calor útil del captador 7
2.5 Transferencia de calor en acumuladores horizontales y verticales 7
2.6 Balance energético de instalaciones térmicas para ACS 8
Balance energético del absorbedor: 8
Balance energético de la cubierta: 10

Balance Energético del Tubo de polietileno en Estado Estacionario 11
2.7 Análisis hidráulico en el sistema captador/ acumulador 11
CAPITULO III 15
SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO 15
3.1 Calefón de gas de uso doméstico 15
3.2 Colector solar de placa y tubos 16
Calculo simplificado de una instalación para producción de agua caliente sanitaria (ACS) 23
3.3 Captador de tubos al vacío 30
3.4 Calentador de baja temperatura con materiales sintéticos 31
CAPITULO IV 33
DESARROLLO EXPERIMENTAL 33
4.1 Análisis de los parámetros físicos y funcionales del sistema 33
4.2 Dimensionamiento del captador en espiral 33
4.2.1 Geometría del calentador 33
Análisis geométrico del colector solar parabólico: 34
4.2.2 Coeficiente global de transferencia de calor 37
Resistencia de convección interna: 37
Resistencia por conducción en la tubería de polietileno: 37
Resistencia por convección externa: 38
4.3 Diseño térmico del acumulador 39
4.4 Análisis hidráulico 41
4.5 Diseño del sistema de bombeo fotovoltaico 42
4.6 Implementación y montaje del calentador 42
4.7 Pruebas de funcionamiento 45
CAPITULO V 47
ANÁLISIS DE RESULTADOS 47
5.1 Determinación de la curva de rendimiento 47
5.2 Relación área de colector con volumen de calentamiento 50
5.3 Relación volumen de acumulación y volumen de calentamiento 51
5.4 Análisis energético con la ecuación de Bliss-Hotel Whillier 51
5.5 Gradiente de temperatura en el acumulador 52

5.6 Perspectivas futuras 53
CAPITULO VI..... 54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 54
6.1 Conclusiones 54
6.2 Recomendaciones 56
Referencias Bibliografía..... 57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo básico del colector en espiral 8
Figura 2. Corte transversal del absorbedor y la cubierta de PET 9
Figura 3. Flujos térmicos del colector en espiral 10
Figura 4. Panel fotovoltaico y bomba sumergible 12
Figura 5. Calefón de gas 16
Figura 6. Colector solar plano 17
Figura 7. Vista interior del colector solar plano 18
Figura 8. Calentador solar con concentración en tres secciones 27
Figura 9. Radiación Solar incidente sobre el colector 27
Figura 10. Colector con reflectores de radiación 28
Figura 11. Colector orientado al Sur 28
Figura 12. Flujo de calor a través del colector solar plano 29
Figura 13. Instalación Típica de un sistema de ACS 29
Figura 14. Calentador de tubos al vacío orientado al Sur 31
Figura 15. Instalación de ACS con tubos al vacío 31
Figura 16. Colector de materiales sintéticos 32
Figura 17. Calentador Solar Parabólico 34
Figura 18. Representación esquemática de un cono truncado 36
Figura 19. Tubería de polietileno y envolturas de PET 42
Figura 20. Calentador parabólico 43
Figura 21. Acumulador de 600 litros 43
Figura 22. Aislamiento térmico con lana natural 43
Figura 23. Bomba sumergida en el acumulador 44
Figura 24. Acumulador de 600 litros 44
Figura 25. Colector solar parabólico y acumulador 44
Figura 26. Llenado del recipiente de acumulación de ACS 45
Figura 27. Toma de datos de radiación solar 45
Figura 28. Medición de temperaturas del colector 45
Figura 29. Medición potencia, voltaje y amperaje 46
Figura 30. Medición de caudal 46
Figura 31. Perfil de temperaturas del colector solar en espiral 47
Figura 32. Incremento de temperatura del agua del acumulador 48
Figura 33. Eficiencia instantánea del colector 48
Figura 34. Radiación solar global 49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estimación del consumo de ACS 24
Tabla 2. Producción en litros/ m²día 25
Tabla 3. Angulo de inclinación 26
Tabla 4. Eficiencia energética 49
Tabla 5. Pérdida de temperatura en el acumulador 52

RESUMEN

La presente investigación comprende el desarrollo en un sistema de calentamiento de agua con energía solar utilizando un colector de forma parabólica con tubos en espiral y envolvente de PET, el fluido sube hacia el acumulador mediante bombeo fotovoltaico para lo cual se utiliza una bomba de 2.5 A., 12V. Para su funcionamiento utiliza un panel fotovoltaico de 36 W, 12V, que le abastece la energía necesaria durante las horas de sol pico, (HSP). Con este sistema se logra extraer energía térmica del colector parabólico, en el menor tiempo posible ya que el funcionamiento de la bomba se realiza en horas de máxima insolación. El agua caliente sanitaria se almacena en un acumulador de 600 litros, que se encuentra revestido con un aislamiento térmico natural de espesor 10 cm. Con esto se reduce la caída de temperatura a tan solo 4 °C durante la noche. La eficiencia del colector supera el 55%, superior al calentador solar plano de producción nacional construido con tubos de cobre. Este desarrollo significa una alternativa tecnológica para hacer aplicado en comunidades emergentes. La ventaja comparativa de este captador es que recibe radiación de toda la bóveda celeste, es decir radiación directa difusa y albedo. Su fabricación es sencilla y puede ser fabricado con materiales locales, residuos de material sintético semi transparente y aislamiento térmico natural.

Palabras clave:
CALENTADOR EN ESPIRAL
ENERGÍA SOLAR
BOMBEO FOTOVOLTAICO
MATERIAL SEMITRANSPARENTE

ABSTRACT

The present research that deals the development of a system heater water, with solar energy, using a parabolic collector, with pipes in spiral and surrounding of PET, the fluid rises towards the accumulator by means of photovoltaic pumping for which is in use pump of 2.5 A., 12V. For this operation, it uses a photovoltaic panel of 36 W, 12V. that supplies the necessary energy during the hours of the Sunshine, (HSP). With this system it is achieved to extract heat energy of the parabolic collector, in the minor possible time since the functioning of the pump is realized in hours of maximum solar radiation. The heat sanitary water is stored in an accumulator of 600 liters, which meets redressed a thermal natural isolation of thickness 10 cm. With this the temperature drop diminishes to only 4 °C during the night. The efficiency of the collector overcomes 55 %, major to heater solar flat of national output constructed with pipe of copper. This development means a technological alternative to do apply in emergent communities. The comparative advantage of this collector is that there receives radiation of the sky, that is to say direct diffuse radiation and albedo. His manufacture is simple and there can be made by local materials, residues of synthetic material transparent semi and thermal natural insulation.

Keywords:

SPIRAL HEATER

SOLAR ENERGY

PHOTOVOLTAIC PUMPING

MATERIAL SEMITRANSPARENT.

“IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO PARA CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA EL SECTOR RURAL”

En el estado del arte es común encontrar sistemas de calentamiento de agua para uso sanitario utilizando resistencia eléctrica, mediante combustión de leña, propano, butano, haz de microondas, inducción electromagnética. Y para grandes volúmenes de agua mediante el uso de calderos que queman bunker, diésel, entre otros derivados del petróleo. El uso intensivo de estos combustibles ocasiona emanaciones de gases de efecto invernadero, que de acuerdo a las políticas actuales, su aplicación debe ser limitada. Por estas razones en estas últimas décadas sean desarrollado diversas tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar térmica de baja temperatura, es por ello que desde hace más de 50 años se utiliza el calentador solar plano, posteriormente se desarrollaron sistemas de calentamiento de piscinas utilizando tubos de polietileno, en la actualidad se cuenta ya con la tecnología de tubos al vacío con lo que se consigue mayor rendimiento energético. Sin embargo, estos equipos térmicos, debido a su alto costo no están al alcance de la comunidad. Es por esta razón en la presente investigación se pretende desarrollar un calentador con tubos en espiral de producción nacional y botellas de pet reciclado y con el propósito de captar la mayor de energía térmica durante las HSP, el fluido se desplace por convección forzada utilizando una bomba que funciona en CC para mover el fluido con velocidades superiores a los 0,05 m/s que es la velocidad producida por el efecto termosifón, con lo que se consigue una mejora sustancial en l rendimiento energético de la instalación.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.- ANTECEDENTES CIENTÍFICOS

El desarrollo de los sistemas de calentamiento de agua con energía solar fue propuesto desde hace más de 60 años. Esta tecnología tomó mayor impulso con la crisis energética de la década de los años 70. El modelo de utilidad con mayor aceptación en los años posteriores a la crisis del petróleo, ha sido el colector solar plano con tubos de cobre. Posteriormente, se ha ido perfeccionando el sistema tradicional, mediante investigaciones realizadas en los ámbitos de los materiales, simulación, geometrías complejas, tipos de fluidos, hasta llegar a modelos de alto rendimiento energético como los de tubos al vacío. Lamentablemente, estas mejoras se traducen en el incremento del costo de los equipos, tanto del captador como del acumulador de agua caliente sanitaria. Por otra parte, entre los estudios científicos relacionados con esta investigación se pueden indicar los siguientes artículos:

- Performance of flat-plate PV/T integrated heat pump water heating system (Guoying, XU, 2012)
- Some aspects of a PV/T collector/ forced circulation flat plate solar water heater with solar cells (Garg, H., 1995)
- Flat –plate PV- Thermal collectors and systems: A review (Zondag, H., 2005)
- A photovoltaic / thermal (PV/T) collector with a polymer absorber plate. Experimental study and analytical model (Rekstad, J., 2012)
- Comparative study of the performances of four photovoltaic/ thermal solar air collectors (Hegazy, A., 2012)

- Performance analysis of photovoltaic –thermal collector by explicit dynamic model (Chow,T., 2003)
- Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review (Charalambous, P., 2006)
- Performance evaluation of solar photovoltaic/ thermal systems (Huang, B., 2012)
- Experimental study of photovoltaic solar assisted heat pump system (Gang, P., 2007)
- Design of small photovoltaic (PV) solar –powered water pump systems (NRSC, 2010)

2.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En los sistemas de calentamiento de agua con energía solar y circulación del fluido de proceso por efecto termosifón, la rapidez de extracción del calor es lenta debido a que el empuje ascensional del agua que sube al acumulador se ve limitado por la acción de la gravedad, y las fuerzas viscosas. En los colectores planos instalados en viviendas multifamiliares, se requiere el uso de bombas para recirculación que funcionan con corriente alterna de la red de distribución eléctrica, esto encarece el costo de la instalación solar térmica. En cuanto al uso de colectores planos en el sector rural, muchas veces se limita el uso de estas tecnologías por el alto costo de adquisición, por lo que en la presente investigación se propone desarrollar y ensayar un nuevo tipo de calentador de agua, utilizando materiales reciclados y otros de producción nacional, para aprovechar la energía solar térmica y fotovoltaica.

3.- OBJETIVOS

3.1.- GENERAL

Desarrollar un nuevo sistema de calentamiento de agua que integre la energía solar térmica y fotovoltaica para mejorar el rendimiento y la captación energética de la instalación durante las horas de sol pico.

3.2.- ESPECÍFICOS

- Realizar el dimensionamiento y análisis energético de un sistema de calentamiento de agua por convección forzada, con capacidad de 600 litros
- Implementar el sistema de calentamiento de agua con energía solar y bombeo fotovoltaico, utilizando materiales alternativos
- Analizar los parámetros de funcionamiento de la instalación
- Homologar los resultados obtenidos para nuevos modelos de utilidad.

4.- ALCANCE DEL PROYECTO

En la presente investigación se propone realizar el dimensionamiento básico y la construcción de un nuevo sistema de captación de la energía solar térmica mediante el uso de un intercambiador en forma de tubos concéntricos, constituido por tubería de polietileno de color negro mate y cubierta transparente de PET reciclado. Además, para mejorar la rapidez de transferencia de calor de los tubos del colector hacia el agua, se va a incorporar un sistema de bombeo fotovoltaico en DC. Se realizarán el análisis de datos del recurso solar y los de funcionamiento del sistema de calentamiento.

5.- JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO

El desarrollo de este proyecto de aplicaciones de la energía solar térmica y fotovoltaica se justifica en vista de las siguientes consideraciones:

- En el año 2013, el gobierno nacional propuso la eliminación del subsidio a los combustibles en vista de que el Ecuador pierde anualmente aproximadamente USD dos mil millones de dólares en subsidios y fuga de combustibles a Colombia y Perú.
- Durante muchos años se ha implementado en el país los sistemas de calentamiento de agua con el tradicional calefón de gas, que es un recurso energético importado. Además, la combustión de propano o butano genera el peligroso monóxido de carbono, que se lo conoce como el gas de la muerte dulce, que ha causado decenas de víctimas.
- Los sistemas de calentamiento de agua con energía solar son poco conocidos y en vista de sus altos costos no es accesible para familias de escasos recursos económicos.

Con lo anteriormente indicado, se justifica plenamente, el desarrollo de un calentador solar eficiente, que utilice materiales de producción nacional y reciclados, que es de interés para la comunidad. Además, al combinar en esta aplicación la energía solar térmica y fotovoltaica, se mejora la eficiencia de transferencia de energía térmica hacia el fluido de proceso, que en este caso es el agua.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Análisis de radiación para cielo isótropo

La radiación solar que incide sobre una superficie horizontal, debe ser corregida para superficies inclinadas dependiendo de su ángulo de inclinación. Puesto que el colector solar formara generalmente un cierto ángulo con el plano horizontal, es necesario conocer valores diarios de las componentes difusa y directa que incide sobre un plano inclinado. De acuerdo con Hottel y Woertz en (1942), la componente difusa puede considerarse Isótropa es decir uniformemente distribuida en el cielo.

Esto es más exacto cuando el cielo está lleno de nubes, se considera la reflexión del suelo u otras posibles superficies que reflejan la radiación difusa debiéndose añadirse al resto:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + (I_b + I_d)\rho \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (1)$$

El factor R_b es el cociente entre la radiación que incide sobre una superficie inclinada y la que incide sobre una superficie horizontal; I_b la irradiancia directa sobre superficie horizontal., I_d Irradiancia difusa, β corresponde al ángulo de inclinación de la instalación.

2.2 Propiedades ópticas de los materiales grises y semitransparentes

Todos los materiales que se utilizan en ingeniería tienen propiedades ópticas como son la reflectividad, absortancia, transmitancia. La radicion solar que llega a un colector lo hace sobre la cubierta transparente una parte será reflejada al exterior, otra se transmitirá y una cierta porción será absorbida por la cubierta. En la práctica se puede utilizarla siguiente expresión.

$$(\tau\alpha) = 1.02\ \tau\alpha \tag{2}$$

2.3 Factor de remoción del calor para el colector en espiral

El factor de evacuación del calor F_R, se define con el cociente entre el calor absorbido por el fluido y el transferido cuando se considera la placa a la misma temperatura del fluido a la entrada del colector es decir:

$$F_R = \frac{mC_p(T_{fs}-T_{fe})}{A_c[S-U_c\,(T_{fe}-T_a)]} \tag{3}$$

Dónde:
m Es el caudal másico, en m/s; C_p calor especifico del fluido, KJ/Kg°C; S radiación solar, en W/m²; T_{fs} temperatura del fluido a la salida, en °C; T_{fe} temperatura del fluido a la entrada, en °C; T_a temperatura ambiente, en °C; A_c área del colector en m²; U_c coeficiente global de transferencia de calor, en W/m²°C.

El factor de remoción de calor aumenta cuando lo hace el flujo másico. El factor es por tanto equivalente al rendimiento de un intercambiador de calor es decir, el coeficiente entre el calor real transferido y el máximo posible.

2.4 Calor útil del captador

El calor útil Q_u transferido al fluido se puede escribir:

$$Q_u = A_c F_R \left[s - U_c \left(T_{fe} - T_a \right) \right] \quad (4)$$

Esta es la ecuación fundamental que se aplica en ingeniería de colectores planos convencionales de este modo se obtiene, la ganancia de calor útil, es decir la energía calorífica por unidad de tiempo en función de la temperatura de fluido a la entrada que es por lo general conocida. De esta expresión se desprende que el factor de remoción de calor representa la reducción de la ganancia que se tendría, considerando la placa a la temperatura de entrada del fluido, pues al ser la temperatura de la placa mayor que T_{fe} las pérdidas son de hecho mayores. Cuando aumenta el flujo en el colector, el aumento de temperatura es menor, disminuye las pérdidas del colector y se produce un aumento de la ganancia de calor útil. Al aumentar el flujo másico, tiene lugar un incremento del factor de remoción del calor.

2.5 Transferencia de calor en acumuladores horizontales y verticales

L.B. Evans y N. Stefany demostraron que el calentamiento o enfriamiento inestable por convección libre en espacios cilíndricos cerrados horizontales y verticales se correlaciona mediante[1]:

$$Nu_D = \frac{hD}{k} = (0.55)(Gr_L \mathrm{Pr})^{1/4} \quad (5)$$

$$0.75 < \frac{L}{D} < 2.0$$

[1] (PITTS, 1979, P.204)

Donde el número de Grashof se forma con la longitud del cilindro y las propiedades del fluido se evalúan a:

$$T_f = \frac{T_S + T_\infty}{2} \tag{6}$$

2.6 Balance energético de instalaciones térmicas para ACS

Como se ha indicado anteriormente, los modelos matemáticos para estudiar el colector solar plano se encuentran debidamente definidos. A continuación se realiza el análisis para el caso de colectores de forma irregular como el captador solar parabólico con sistemas de calentamiento compuesto por tubería de polietileno y cubierta de PET.

Balance energético del absorbedor:

Para realizar el análisis del colector parabólico con tubos distribuidos en forma de espiral se utiliza es esquema de la figura 1 en el cual se puede observar la tubería interior que corresponde al absorbedor, y situada de manera concéntrica la envolvente o cubierta de PET.

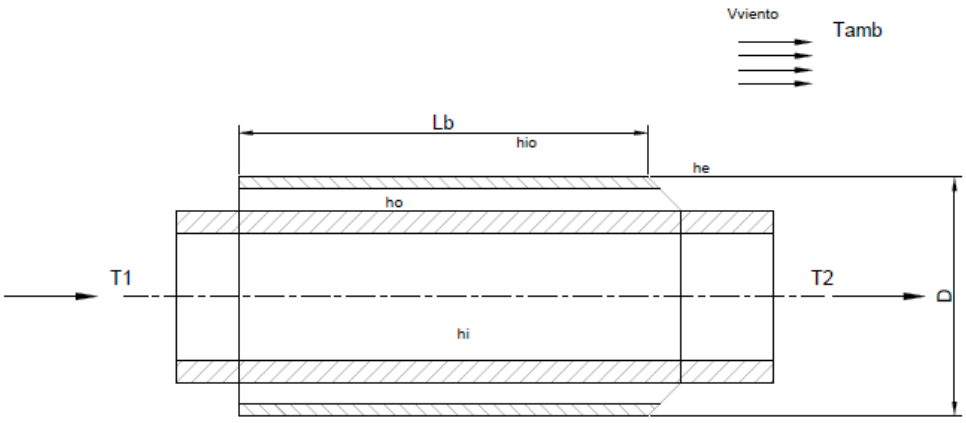


Figura 1. Modelo básico del colector en espiral.

Dónde: Lb Longitud unitaria de la cubierta cilíndrica semitransparente, D Diámetro de la cubierta, T1 Temperatura de entrada del fluido, T2 temperatura de salida, hi coeficiente de convección interna, ho coeficiente de convección para la región anular formada por la cubierta de PET y el tubo absorbedor de polietileno, he coeficiente de convección exterior calculado con la ecuación de Wattmuff.

$$h_e = 2.8 + 3\,V_{viento} \tag{7}$$

El modelo anterior, en corte transversal es similar a lo que se observa la figura 2.

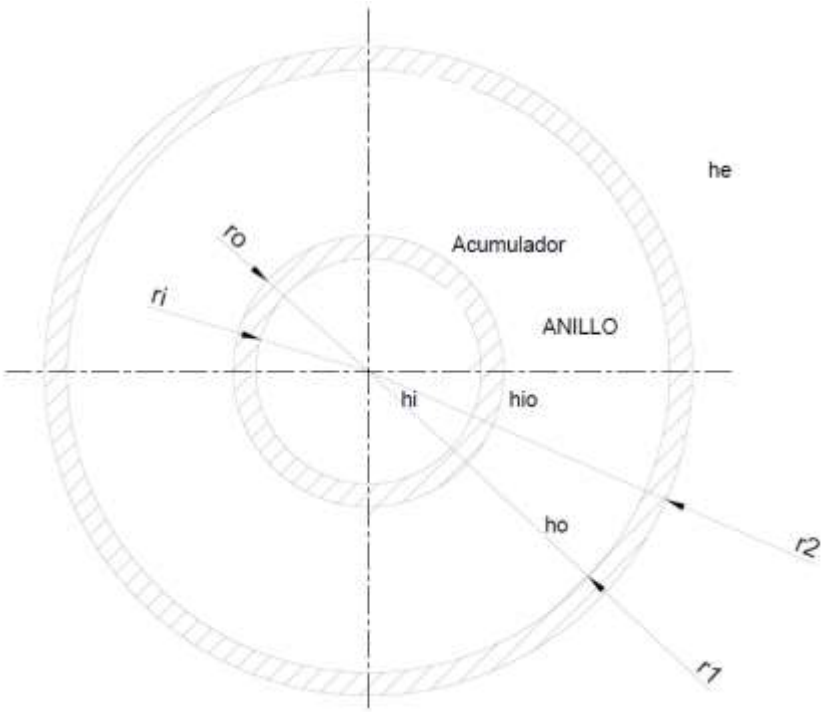


Figura 2. Corte transversal del absorbedor y la cubierta de PET

Dónde:

La relación entre los diámetros y radios de la envolvente y la tubería se define de la siguiente manera: diámetro interior del tubo, di = 2ri, diámetro exterior del tubo, do = 2ro; diámetro interior de cubierta de PET, D1=2r1; diámetro exterior de cubierta o envolvente semitransparente, D2=2r2.

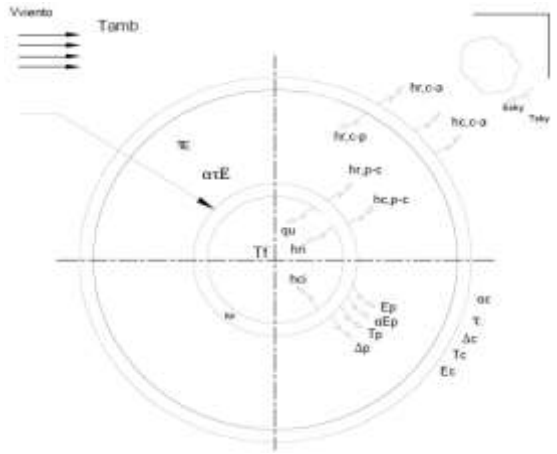


Figura 3. Flujos térmicos del colector en espiral

Balance energético de la cubierta:

$$Q_{R,sky-c} + Q_{R,p-c} + Q_{c,p-c} = Q_{R,c-a} + Q_{R,c-p} + Q_{c,c-a} \quad (8)$$

$$(\varepsilon_{sky}.Ac.\sigma {T_{sky}}^4 + \varepsilon_p.Ac.\sigma {T_p}^4) + ho.Ac(T_p - T_c) = \varepsilon_c.Ac.\sigma {T_c}^4 + \varepsilon_c.Ac.\sigma {T_c}^4 + he.Ac(T_p - T_c) \quad (9)$$

$$\propto_c (\varepsilon_{sky}.\sigma.T_{sky}^4 + \varepsilon_p.\sigma.T_p^4) + ho(Tp - Tc) = \varepsilon_c.\sigma.T_c^4 + \varepsilon_c.\sigma.T_c^4 + he(Tc - Ta) \quad (10)$$

$$\propto_c (\varepsilon_{sky}.\sigma.T_{sky}^4 + \varepsilon_p.\sigma.T_p^4) + ho(Tp - Tc) = 2\varepsilon_c.\sigma.T_c^4 + he(Tc - Ta) \quad (11)$$

Dónde:

ε_{sky} emisividad del cielo; **ε_p** emisividad del tubo; **ε_c** emisividad del PET; **h_o, h_e** coeficientes de convección para el aire estancado de la región anular y el aire externo; **σ** 5,67 x 10^{-8} (W/m^2* K^4) Constante de Stefan-Boltzman

Balance Energético del Tubo de polietileno en Estado Estacionario

Qentra=Qsale

$$\propto_p (Q_{R,c-p} + \tau E\ \mathrm{Ap}) = Q_{R,p-c} + Q_{c,p-c} + Q_{util} \quad (12)$$

$$\propto_p (\varepsilon_c.\sigma.Ap.T_c^4 + \tau E\mathrm{Ap}) = \varepsilon_p.\sigma.\mathrm{Ap}.T_p^4 + hoAp(Tp - Tc) + Q_{util} \quad (13)$$

$$\propto_p (\varepsilon_c.\sigma.T_c^4 + \tau E) = \varepsilon_p.\sigma.T_p^4 + ho(Tp - Tc) + F_R[\kappa.\tau.\alpha.E - U_L(t2 - t1)] \quad (14)$$

Dónde:

ε_c emisividad de la cubierta de PET; **Tc** temperatura de la envolvente cilíndrica o cubierta de material PET; **αp** absortancia del absorbedor; τ transmitancia del PET; **ε_p** emisividad de la tubería de polietileno; **Tp** temperatura de la tubería; **ho** coeficiente de convección en la región anular que se calcula por convección natural entre cilindros concéntricos (Duffie, p. 151); **Tc** temperatura de cubierta; F_R factor de remoción del calor; **k** factor de sombra y suciedad: **E** irradiancia total incidente en el colector parabólico; **UL** coeficiente global de transferencia de Calor; **t2,t1** temperaturas de entrada y salida del captador solar.

2.7 Análisis hidráulico en el sistema captador/ acumulador

Las instalaciones de bombeo de agua, normalmente, no requieren baterías, teniendo la siguiente configuración:

a) Un conjunto de módulos fotovoltaicos.

b) Un equipo electrónico de acondicionamiento de potencia que puede llevar implicada la conversión de corriente continua en corriente alterna.
c) Interruptores a nivel mecánicos o controles de nivel electrónicos por conductividad, cuando sean necesarios para arrancar o parar la bomba por falta de agua en el pozo o por llenado del depósito.
d) Un conjunto motor-bomba cuyas características dependen de la aplicación.
e) Un sistema de acumulación que en este caso será un depósito de agua.

Las instalaciones se clasifican en función de la tensión de funcionamiento del motor de la bomba, así se tiene:

1. **Sistemas de bombeo solar directo en C.C. con bomba sumergible.** Un conjunto de módulos conectados en serie/paralelo alimenta a través de un convertidor de acoplamiento a una bomba sumergible de corriente C.C. el convertidor de acoplamiento tiene dos funciones, por un lado consigue aumentar el rendimiento ajustado en cada momento las condiciones óptimas de tensión e intensidad necesaria para el giro del motor, y por otro una función protectora impidiendo que los módulos suministren corriente en cortocircuito al bobinado del motor cuando no produce tensión o intensidad suficiente para que este gire.

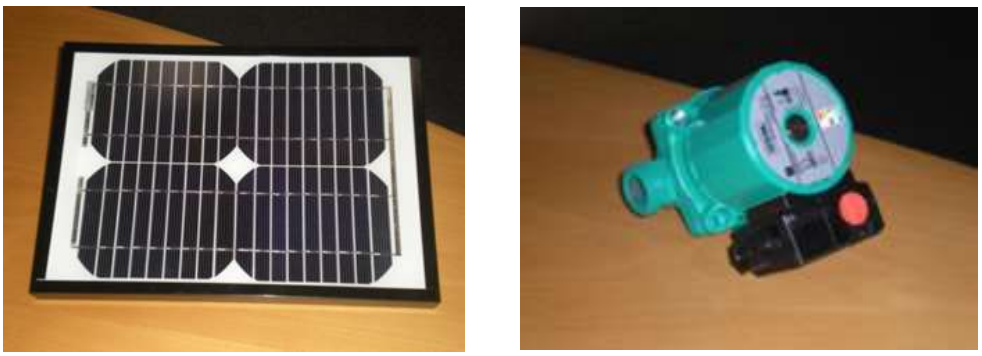


Figura 4. Panel fotovoltaico y bomba sumergible

2. **Sistema de bombeo solar directo en C.A con bomba sumergible o auto aspirante.**

   Estos sistemas constan de un conjunto de módulos conectados entre sí en serie-paralelo para conseguir la tensión y potencia necesaria de entrada a un inversor de corriente CC/CA, este inversor con salida trifásica suministra corriente con frecuencia variable en función de la tensión e intensidad producida en el campo de paneles, esta corriente la absorbe una bomba sumergible con motor trifásico.

   Tanto para los bombeos en C.C como para los de C.A debemos elegir la bomba adecuada estudiando la curva de trabajo que relaciona el caudal proporcionado con la altura manométrica de elevación. Debemos conocer al menos lo los siguientes datos de partida:

1. Litros/día necesarios L.
2. Altura manométrica: que es la altura del bombeo más la pérdida de carga en tuberías y accesorios.
3. Aforo máximo del pozo.
4. Diámetro del pozo.

Conocidas las H.S.P del lugar y las necesidades hídricas, podemos calcular el caudal que debe dar la bomba por la expresión:

$$C = \frac{L}{H.S.P.} \tag{15}$$

Con el caudal necesario y la altura manométrica elegimos, analizando su curva de trabajo, la bomba que más se adecue a nuestras necesidades y que consuma una menor potencia. Elegida la bomba conoceremos su potencia y podemos calcular el número de módulos necesarios por la expresión:

$$N_T = \frac{P_{bomba}}{P_{pM}} \quad (16)$$

El conexionado de estos módulos se hará para satisfacer los requerimientos de tensión de entrada del sistema de acondicionamiento de potencia y conversión de corriente.

Los sistemas de bombeo tienen la ventaja de que pueden prescindir de la batería y de que el aumento de las necesidades hídricas suele coincidir con las épocas de mayor radiación solar.

CAPITULO III

SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO

3.1 Calefón de gas de uso doméstico

En forma convencional, para calentamiento de agua de uso doméstico y sanitario se utiliza gas propano, GLP, Butano. Estos combustibles de origen fósil son deficitarios en el Ecuador por lo que se importa de otros países como es el caso de la importación desde Venezuela, Perú, Bolivia o Argentina. Para la distribución, su costo se reduce sustancialmente ya que el estado subsidia el valor de este recurso energético no renovable. Por otra parte, de acuerdo con estudios realizados por entidades no gubernamentales de los EEUU, se estima que el Ecuador pierde 2000 mil millones de dólares, al subsidiar los combustibles, para consumo nacional, con pérdidas que se incrementan por la fuga de los derivados del petróleo hacia Colombia y Perú.

Aparte de este derroche energético es necesario considerar que la combustión del gas genera el monóxido de carbono (CO), que produce la muerte por inhalación. En la ciudad de Quito y en otras localidades del país han identificado casos de muerte de varias personas por este efecto nocivo. Para dar una solución a esta compleja realidad, el Gobierno Nacional, dentro de su política energética, estima retirar el subsidio del gas hasta el año 2018, año en el cual deben estar totalmente implementados sistemas de calentamiento de agua con energía solar, resistencias eléctricas, combustión

de leña, y en pequeña proporción el uso del gas para la obtención de agua caliente sanitaria.

En cuanto a la tecnología existente para quemar gas, se puede indicar el equipo conocido como calefón, que contiene un encendedor eléctrico, intercambiador de tubos y placas, termostato para controlar la temperatura. El agua atraviesa por el intercambiar de calor y puede calentarse hasta la temperatura de ebullición si es que no existe un controlador electrónico, ocasionando quemaduras, ya que la piel del ser humano resiste hasta 65°C. El agua caliente que sale del calefón debe ser mezclada con el agua de red para alcanzar la temperatura de confort de 42°C. Por lo tanto, este tipo de aplicación requiere que la temperatura de proceso sea inferior a los 100°C, es decir de baja temperatura. A continuación, en la figura 5 se observa el esquema básico de un calefón de gas.

Figura 5. Calefón de gas

3.2 Colector solar de placa y tubos

Hace más de 60 años en los EEUU y en Europa aparecieron los primeros tipos de colectores planos para calentamiento de agua con energía solar. En algunas instalaciones se requería el uso de sistemas de bombeo para la circulación forzada del aceite térmico o del agua en calentamiento

directo, en pequeñas aplicaciones este sistema ha funcionado por el efecto termosifón. Es decir, el agua se desplaza por convección natural cuando existe un cambio de densidades debido al incremento de temperatura, a mayor temperatura el fluido es menos denso. Sin embargo, este último método tiene poco captación energética debido a que el agua fluye lentamente entre el colector y el acumulador. A continuación, en la figura 6 se puede observar componentes del captador solar plano.

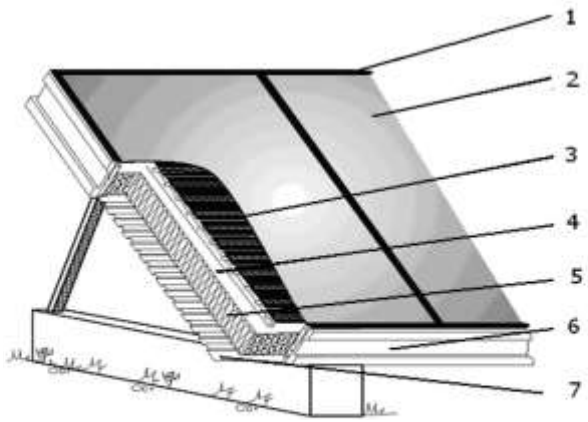


Figura 6. Colector solar plano

Los componentes del colector solar plano son[2]

1. Soporte lateral del captador
2. Cubierta transparente de vidrio o polipropileno
3. Espacio para aire estancado
4. Placa absorbedora
5. Tubería de cobre
6. Aislamiento térmico
7. Placa absorbedora y tubería de cobre

Otro tipo de colector solar plano se lo puede observar en la figura 7, donde se tiene el manifol o tubo de distribución del fluido frio y el otro de recolección del fluido caliente en la salida del captador.

[2] (Madrid, 2009, P.81)

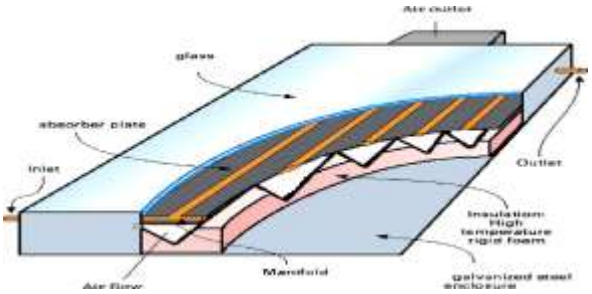


Figura 7. Vista interior del colector solar plano[3]

Las instalaciones para la obtención de A.C.S. por energía solar, constan básicamente de cuatro sistemas principales: [4]

1. Sistema de captación.
2. Sistema de acumulación.
3. Sistemas de utilización.
4. Sistema de apoyo.

La placa absorbente de los colectores, el sistema de captación, está compuesta de unos tubos o canalizaciones de agua, o una mezcla con anticongelante, u otro fluido calo portador, que al calentarse transporta el calor a un deposito aislado para evitar pérdidas térmicas. Los ciclos día-noche, debidos al movimiento de rotación de la tierra sobre sí misma, hacen necesario el sistema de acumulación.

El sistema de utilización en la red de agua caliente de la vivienda. El sistema de apoyo nos sirve para los días nublados en los que hay poca radiación solar: puede ser un calentador a gas, o una resistencia eléctrica situada en el depósito.

Captación, acumulación, utilización y apoyo, interaccionan entre sí mediante otra serie de elementos como las conducciones o tuberías. Los

[3] (Assari, 2011)
[4] (Ortega, 2010)

elementos de regulación y control, el fluido calo portador, el fluido de utilización, elementos de seguridad, elementos electromecánicos, aislantes.

Podemos hacer una clasificación de las instalaciones solares térmicas en función de que la circulación del fluido calo portador entre el sistema de captación y el sistema de acumulación se haga de manera forzada mediante un elemento electromecánico, llamado bomba de circulación que utilizan un elemento intercambiador de calor de las que no lo hacen. Así tenemos cuatro tipos básico de instalaciones:

a) **Sistema** termosifónico o **natural directo:** sus características fundamentales son la colocación del sistema de acumulación a una altura superior al sistema de captación y que el agua de consumo es la misma que se calienta en el colector. Aunque existen equipos comercializados que trabajan por termosifón colocando el deposito a la misma altura que el colector.
b) **Sistema** termosifónico o **Natural con intercambiador:** es básicamente igual que el anterior solo que utiliza sistemas de acumula con intercambiador incorporado. Será necesario colocar un vaso de expansión para compensar las dilataciones térmicas del fluido en el circuito primario.
c) **Sistema Forzado directo:** en este caso, el sistema de captación puede estar en un nivel superior de acumulación ya que el movimiento del fluido lo realiza el circulado.
d) **Sistema Forzado con intercambiador:** como en todos los sistemas forzados la existencia de un circulado permite la colocación del depósito acumulador a cualquier altura relativa a la del colector. Utiliza un elemento intercambiador de calor que puede encontrarse incorporado en el sistema de acumulación. Cuando el volumen de acumulación es levado el intercambiador puede ser un elemento independiente situado entre l sistema de captación y el de acumulación. También se instalara

aquí, como le sistema natural con intercambiador, vaso de expansión en el circuito primario.

Al circuito formado por el colector, las tuberías de ida y el retorno al intercambiador y el propio intercambiador, se le llama circuito primario. Por otra parte, al circuito formado por las tuberías de alimentación al depósito acumulador y las tuberías que van a los puntos de consumo, se le llama circuito secundario.

Los sistemas termosifónicos funcionan debido a la diferencia de densidad de un mismo fluido cuando se encuentran a diferente temperatura. La circulación se produce porque la zona más fría desciende, al pasar más por ser más densa, al mismo tiempo que la zona que se calienta en el interior del colector por efecto de la radiación solar, asciende al pasar menos debido a su pérdida de densidad.

La circulación natural se produce debido a la diferencia de densidad entre dos zonas de un fluido que se encuentran a distinta temperatura, es lo que se llama convención. Los sistemas que sitúan el deposito a nivel inferior al colector solar requieren la colocación en la tubería de una válvula de retención, o anti retorno, para que el agua caliente acumulada durante los momentos de sol, no se pierda por circulación natural ascendiendo y enfriándose en el colector cuando haya sol y la placa absorbente se enfrié. Se trata de impedir circulaciones de fluido no deseadas.

El circulado y demás elementos cuando se incorporan en sistemas directos deben ser de latón, bronce, cobre u otro metal con buena resistencia a la corrosión electroquímica, ya que la presencia de oxigeno es continua debido a la renovación permanente del agua en el interior de los circuitos.

Los sistemas forzados requieren un elemento que actué sobre la puesta en marcha y paro del circulado. El objeto es que este solo funcione cuando la temperatura del fluido en el colector sea superior a la del fluido en el

acumulador. Esto se consigue con los reguladores térmicos diferenciales. Dos sondas eléctricas de temperatura, una en el panel y otra en el depósito, envían la señal eléctrica a un circuito comparador que abre o cierra un relé o interruptor automático según la diferencia de temperaturas entre ambas sondas. Los reguladores suelen incorporar un potenciamiento que permite seleccionar el valor del diferencial térmico a favor del colector para que la bomba arranque. Este diferencial depende de características de la instalación como la distancia entre acumulador y panel entre otras.

Hemos mencionado ya en dos ocasiones el vaso de expansión y hemos dicho que el elemento que compensa las dilataciones por aumento de temperatura del fluido; en los sistemas con intercambiador es imprescindible, sin embargo en los circuitos secundario de consumo es opcional, pero conveniente, pues su instalación minimiza las descargas de agua por las válvulas de seguridad que son de obligada instalación tanto en los circuito primarios como en los secundarios. Esto evita aumentos excesivos de presión en las instalaciones.

El vaso de expansión puede ser abierto. En este caso es un recipiente conectado a las tuberías del circuito primario, similar al del circuito de refrigeración de los vehículos, y que se encuentran en el punto más alto del circuito hidráulico para que no se produzcan desbordamientos. Las instalaciones con vaso de expansión abierto trabajan en su circuito primario a la presión atmosférica más la debida en cada punto a la altura de la columna de agua. Los vasos de expansión abiertos pueden incorporar un mecanismo a modo de calcula de flotador con modo las perdidas por evaporación o por desbordamiento por una tubería de descarga que puede llevar incorporada. En sistemas sencillos con vaso de expansión abierto, el llenado del circuito primario podemos hacerlo de modo manual.

El vaso de expansión puede ser cerrado. Entonces en un recipiente hermético con una membrana flexible en el interior que se deforma cunado

un gas inerte situado a un lado de la misma, ante el empuje del fluido, situado al otro lado, debido a la aumentos de presión por aumento de temperatura. Los sistemas son abiertos, y usan un vaso de expansión abierto, cuando su circuito primario trabaja en contacto con la presión atmosférica. Son cerrados, y usan vaso de expansión cerrado, cuando funcionan a presión superior a la atmosférica.

Otras válvulas y elementos intervienen o pueden intervenir en las instalaciones:

- Llaves de paso: cierran o abren el paso de agua. Es necesario preverlas para realizar reparaciones o manipulaciones sin necesidad de cortar toda la alimentación de agua de la vivienda. También es conveniente situarlas antes y después de elementos importantes como los circulados o los intercambiadores para poder repararlos, manipularlos o sustituirlos sin necesidad de vaciar todo el circuito.
- Purgadores: automáticos a o manuales se sitúan en los puntos más elevados de los circuitos para extraer el aire.
- Válvulas se seguridad: se abren automáticamente ante aumentos incontrolados o peligrosos de presión. Las de los circuito primarios están taradas para iniciar la apertura sobre 3 Kg/cm^3, las de los circuitos secundarios la presión de disparo suele ser del orden de 6 Kg/cm^2.
- Coquillas o recubrimientos aislantes: para limitar las fugas de calor por las tuberías y demás elementos del sistema, y proteger contra el riesgo de congelación del fluido en el interior de la tubería a la intemperie. Se usan espesores de 10 a 20 mm en los tramos interiores, y de 20 a 30 mm. En los exteriores
- Reguladores térmicos, termostatos: el termostato diferencial actúa como ya hemos dicho. Otros termostatos pueden activar o desactivar energías auxiliares o de apoyo, maniobrar electroválvulas.

- Electroválvulas de dos, tres o cuatro vías, normalmente abiertas o cerradas (NA o NC), válvulas de llenado automático, reductoras de presión, reguladoras de caudal.

Calculo simplificado de una instalación para producción de agua caliente sanitaria (ACS)

Veremos en este apartado una determinación simple de los parámetros fundamentales de una instalación de producción de A.C.S. por supuesto, el cálculo quedara incompleto desde el punto de vista del profesional de la ingeniería e instalación de estos sistemas, pero no es un objetivo de este texto entrar en una determinación pormenorizada de los elementos del sistema.

Como dato de partida podemos utilizar el número de personas, real o estado, que habitan en la vivienda o viviendas, tanto en el caso de instalaciones para usos domésticos centralizadas multifamiliares como en el caso de unifamiliares. En el caso de instalaciones hoteleras o campings, y en hospitales, contabilizaremos el número de camas, e introduciremos el factor de número de estrellas de alojamiento. Cuando la instalación es para uso en complejos deportivos es más conveniente utilizar el dato de número de duchas. Es necesario saber también la latitud L, del lugar donde se llevara a cabo la instalación.

Determinaremos el volumen de agua de consumo, el volumen de acumulador de A.C.S. la superficie de colectores necesarios y el número de los mismos que deben integrar la instalación, la orientación y la inclinación de la superficie captadora.

A) Determinación de la carga de consumo y del volumen del acumulador necesario.

Llamaremos M al consumo de A.C.S. en Litros/día a 45°C, y lo determinaremos de la siguiente manera:

$$M = l \ x \ N \tag{17}$$

Donde l es el volumen de consumo en litros por persona, cama o ducha al día, y N es el número de personas, camas o duchas, l lo podemos extraer de la tabla 1. El volumen V del depósito acumulador lo calculamos eligiendo un estándar comercial que tenga una capacidad comprendida entre el 80% de la carga de consumo diario y el 100% de la misma.

$$0.8 \ x \ M \ \leq V \leq M \tag{18}$$

Tabla 1

Estimación de consumos de ACS

Volumen de consumo en Litros por unidad de referencia			
Tipo de instalación	**Persona**	**Cama**	**Ducha**
Unifamiliar	40		
Multifamiliar	30		
Hotel hasta 3★		60	
Hotel más de 3★		80	
Hospital		80	
Deportiva			20

B) Determinación de la superficie captadora y del número de colectores.

En este apartado tendremos en cuenta el uso de colectores, de los del mercado, con placa absorbente con recubrimiento selectivo, cubierta de vidrio transparente de vidrio de bajo contenido en hierro, y aislamiento de tres centímetros de espesor de fibra de vidrio o lana de roca de densidad

media. Según el clima, la capacidad de producción de agua caliente a 45°C de un metro cuadrado de superficie captadora es distinta. Simplificando para la península ibérica, podemos establecer tres tipos de climas: muy frío, frío, y templado. Será muy frío el clima con temperaturas bajo cero en invierno de modo habitual, frío cuando estas temperaturas se dan ocasionalmente pero no son excepcionales y templadas cuando es raro que se den temperaturas bajo cero. Estableceremos una producción de litros de agua por metro cuadrado de colector deducida de la tabla 2.

El factor 1.2 corrige la producción para funcionamiento exclusivo en verano. Si llamamos A al área en m^2 de la superficie necesaria, podemos calcularla mediante la siguiente expresión:

$$A = M \ x \ C \tag{19}$$

Donde C es la producción en litros por metro cuadrado y día de colector extraída de la tabla 3.2 y M la carga de consumo diaria, calculada como ya hemos visto. Calculada la superficie necesaria, el número de paneles N viene dado según:

$$N = \frac{A}{S_u} \tag{20}$$

Donde S_u es la superficie útil del colector dada por el fabricante. El valor de N, normalmente, se redondea hacia arriba, pues no es posible obviamente utilizar porciones de panel.

Tabla 2

Producción en Litros/m^2 Día, según el clima del lugar

Muy frío	Frío	Templado
55	**75**	**85**
	X 1.2 para usos de verano	

C) Orientación e inclinación de la superficie de colectores.

En el próximo capítulo entenderemos mejor las causas de las formulaciones que hacemos en este apartado.

Puesto que el sol hace un recorrido de este a oeste pasando por el sur, la orientación preferente debe ser sur para las instalaciones situadas en el hemisferio norte. Variaciones de la orientación preferente de 20° e incluso de 25° son admisibles.

La energía procedente de la radiación solar absorbida por una superficie depende del ángulo de incidencia de la misma. En el movimiento aparente del sol, visto por un observador situado en el hemisferio norte, vemos que la trayectoria que describe es más elevada y de mayor duración en verano que en invierno, para lograr la mayor perpendicularidad posible de los rayos solares sobre los paneles. Partiendo de la latitud del lugar L, y admitiendo variaciones de 5° arriba o abajo, la inclinación podemos deducirla de la tabla 3.

Tabla 3

Angulo de inclinación de instalaciones térmicas

Periodo	Tipo de uso típico	inclinación ***B***
Anual	A.C.S. anual	L + 10
Invierno	Calefacción invierno	L + 15
verano	Acondicionamiento de piscinas verano	L - 10

Otro tipo de colector solar, es aquel que tiene superficies de concentración de tipo parabólico y con recipiente de acumulación se encuentra inmerso en el captador. La ventaja de este diseño consiste en lograr calentar de manera uniforme el agua que se encuentra en el tanque, la temperatura que alcanza, es de 55°C.

Figura 8. Calentador solar con concentración en tres secciones[5]

La energía solar que capta el colector proviene de la radiación directa y difusa de las nubes, albedo del piso, y de las edificaciones montañas o bosques que tienen línea de vista al captador. Esto se demuestra en la figura 9.

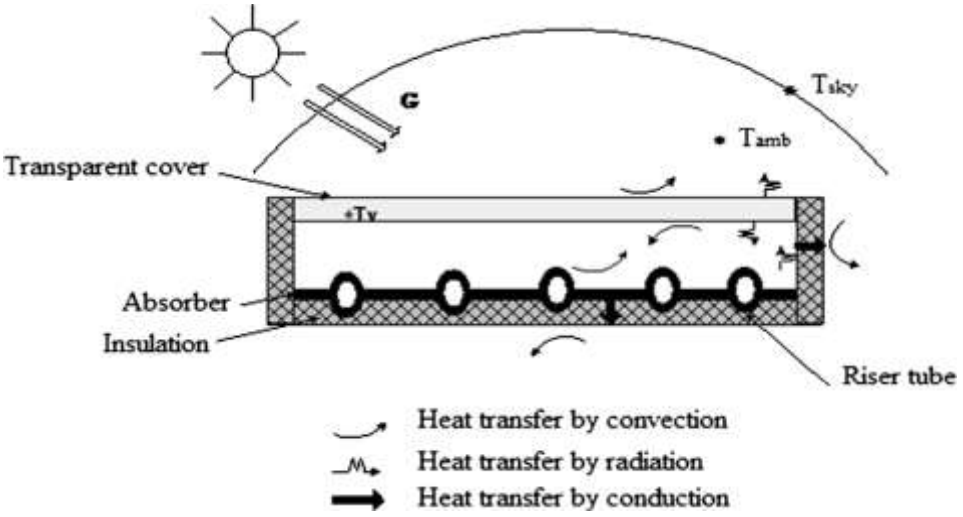


Figura 9. Radiación Solar incidente sobre el colector[6]

El colector solar plano tiene siempre un área de captación de forma rectangular. Sin embargo, si se quiere aumentar el área de recolección se

[5] (Helal, 2010, P.196)
[6] (Hamed, 2014, P.67.)

utilizan reflectores que desvían el haz de luz solar hacia la superficie plana del captador aumentando la densidad energética.

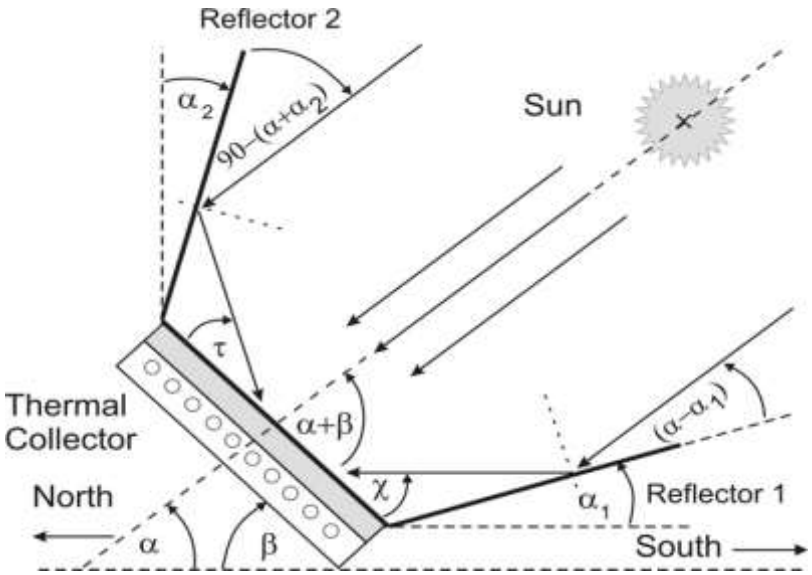


Figura 10. Colector con reflectores de radiación[7]

Es importante que en el proceso de instalación de colectores se defina de manera adecuada la orientación e inclinación del captador para que a lo largo del año se pueda obtener la mayor disponibilidad del recurso solar. En la Figura 11, se puede observar un captador con orientación hacia el sur.

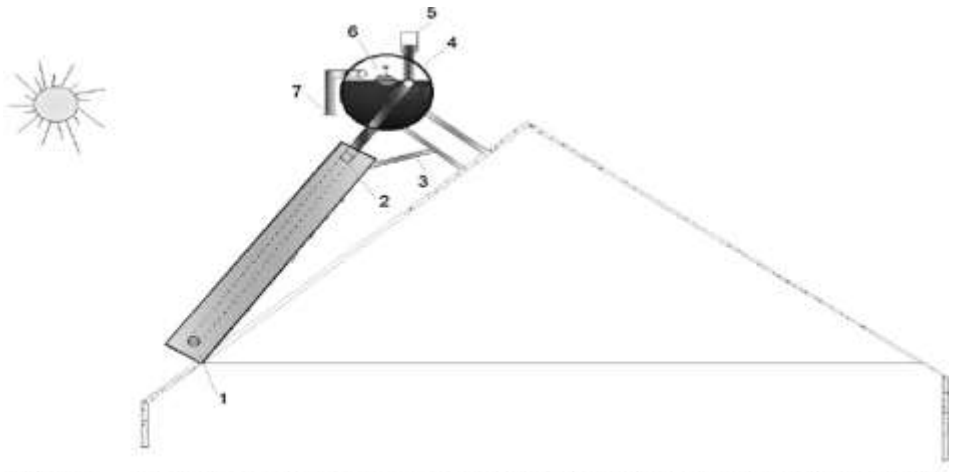


Figura 11. Colector orientado al Sur[8]

[7] (Zorant, 2012, P.256)
[8] (Zorant, 2012,P.257)

En el análisis energético de los sistemas de calentamiento de agua con energía solar, es importante identificar los flujos de calor a través del captador. En la figura 12, se observa las ganancias y pérdidas de energía térmica.

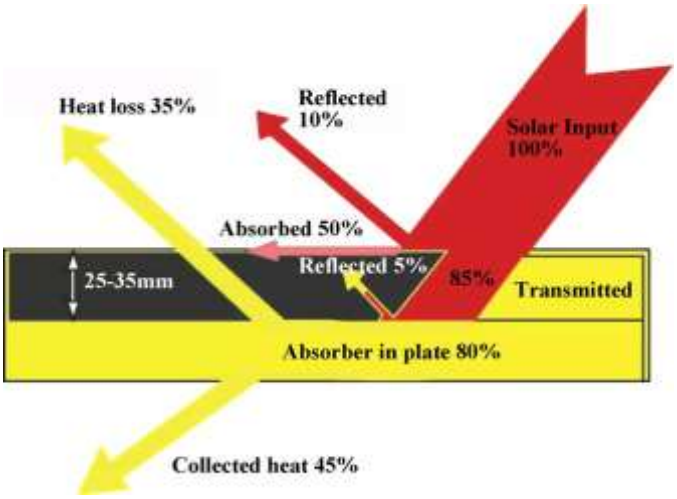


Figura 12. Flujo de calor a través del colector solar plano[9]

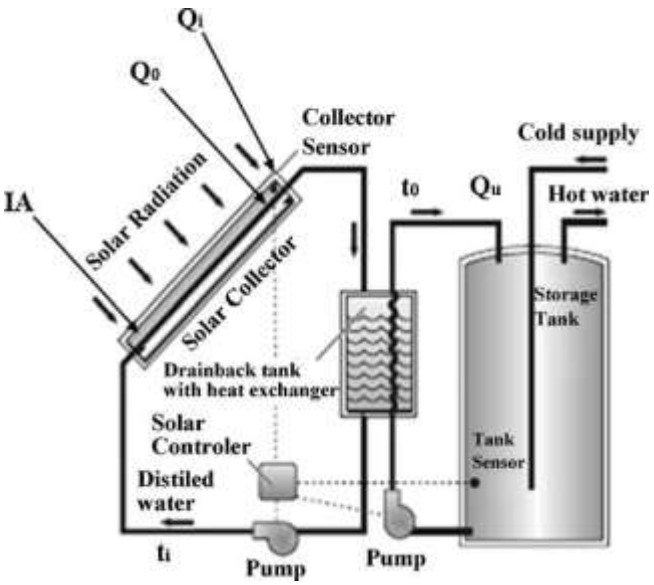


Figura 13. Instalación Típica de un sistema de ACS[10]

En la figura 13, se presenta una instalación típica de un sistema de calentamiento de agua con energía solar. Aquí, se puede observar el

[9] (Zorant, 2012)
[10] (Zorant, 2012)

colector, el intercambiador de calor y el tanque de acumulación de agua caliente sanitaria. Es necesario indicar que de acuerdo con el esquema, el fluido primario que atraviesa por el interior de los tubos del colector es aceite térmico, el cual circula por convección forzada mediante el uso de una bomba. En el circuito segundario el agua es forzada a atravesar el intercambiador de calor por medio de un sistema de bombeo. Además, hay que tener claro que al aplicar sistemas de bombeo se encarece el costo de la instalación. Sin embargo, son más eficientes que los sistemas termosifónicos o por convección natural.

3.3 Captador de tubos al vacío

Como se puede observar en la figura 14, estos colectores disponen de tubos de vidrio transparente. A diferencia del sistema anterior con placa de absorción, en este caso cada tuvo de vidrio lleva en su interior un tubo concéntrico de absorción, de menor diámetro, recubierto de una película selectiva, por donde circula el fluido portador del calor. Se les llama de tubos de vacío, porque al fabricarlos, se extrae el aire contenido entre los dos tubos concéntricos. Al estar vacío el espacio anular, las pérdidas de calor por convección son menores. [11]

La radiación solar atraviesa el tubo exterior transparente de vidrio e incide sobre el tubo interior de absorción que se calienta. Este calor es transferido al fluido que circula por dentro de este tubo, con los captadores de tubos al vacío se puede calentar agua hasta unos 110°C, por lo que es posible emplear en calefacción, lavabos, piscinas. El rendimiento de este equipo es superior al de los colectores con placas. Debido a este mayor rendimiento se utilizan en climas fríos, el inconveniente es que son aún caros.

[11] (Madrid, 2009, P.106)

Figura 14. Calentador de tubos al vacío orientado al Sur [12]

El calentador de tubos al vacío puede funcionar por el efecto termosifón o por convección forzada, necesitando disponer de un acumulador donde se almacene el agua caliente. Para que funcione por convección natural el acumulador debe encontrase a una altura superior al eje de salida de agua caliente sanitaria, mientras que si se utiliza bomba, el recipiente de acumulación de agua puede encontrase en la parte inferior del captador. A continuación se observa en la figura 15, un esquema básico para una instalación de colectores de tubos al vacío con acumulación.

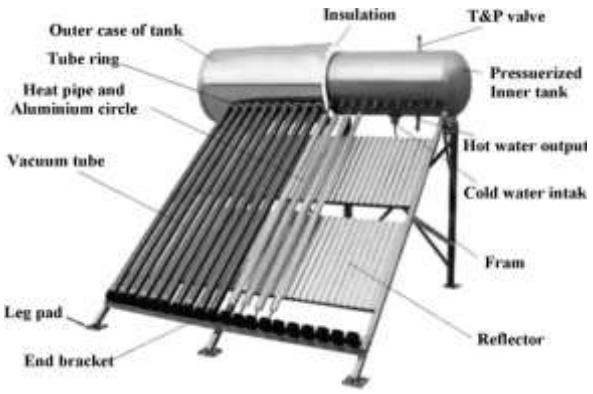


Figura 15. Instalación de ACS con tubos al vacío

3.4 Calentador de baja temperatura con materiales sintéticos

Para aplicaciones de baja temperatura, inferior a los 100°C, se pueden utilizar colectores con tuberías de polipropileno y cubierta transparente de

[12] (Tang, 2011, P.203)

policarbonato. Un captador de estas características se puede observar en la figura 16.

Figura 16. Colector de materiales sintéticos[13]

[13] (Andrea, 2013, P.161)

CAPITULO IV

DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 Análisis de los parámetros físicos y funcionales del sistema

Para definir la geometría y los materiales a utilizar en el desarrollo del calentador solar parabólico en espiral, se necesita identificar los siguientes parámetros físicos y funcionales: radiación solar global, velocidad del viento, temperatura ambiente, temperatura de entrada y salida del agua del calentador, temperatura de salida del agua del acumulador, caudal. Además, potencia de bombeo, voltaje y amperaje del panel fotovoltaico.

4.2 Dimensionamiento del captador en espiral

Para realizar el dimensionamiento del calentador, hay que partir de una geometría determinada como es el caso del uso de un paraboloide de forma esférica, sobre la cual se debe instalar en forma concéntrica el tubo de polietileno y la cubierta de PET. En el aspecto energético es necesario determinar el coeficiente global de transferencia de calor, considerando tres coeficientes de convección y dos de conducción. Al ser un sistema de calentamiento con energía solar, es necesario considerar la radiación solar incidente, para cielo isótropo. A continuación se realiza el análisis de cada uno de los aspectos anteriormente indicados.

4.2.1 Geometría del calentador

De acuerdo a lo que se puede observar en la figura 17, se define que la geometría del calentador sea similar al de un paraboloide de revolución,

donde se acoplan en forma consecutiva las espiras formadas por el tubo de polietileno y envoltura de PET. El principio de funcionamiento consiste en que el agua que atraviesa por convección forzada por el interior de la tubería de polietileno, se calienta debido a la transferencia de calor desde la parte externa del tubo que está expuesto a la radiación solar. En la región anular se genera el efecto invernadero entre la superficie exterior de la tubería y el cilindro de PET. Es decir, la envolvente, de material transparente deja pasar radiación de onda corta, por lo que el absorbedor empieza a calentarse y posteriormente emite radiación en onda larga. La cubierta, no permite el paso de esta radiación de onda larga por lo que se incrementa la temperatura en el interior de la región anular. Con este principio se consigue calentar una mayor cantidad de flujo másico de agua, especialmente en las horas de sol pico (HSP). Además, el mejoramiento del rendimiento energético, se consigue, mediante la captación de radiación solar de toda la bóveda celeste, para cielo isótropo, es decir cuando existan nubes y la distribución de radiación difusa y albedo sea uniforme.

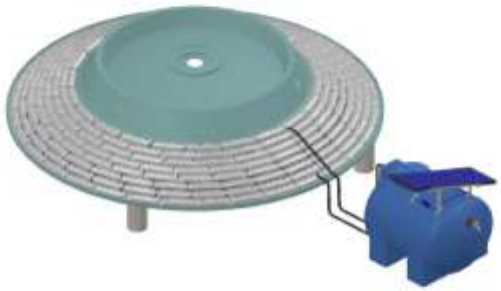


Figura 17. Calentador Solar Parabólico

Luego de haber seleccionado la geometría del calentador parabólico. A continuación, se procede a realizar el análisis dimensional.

Análisis geométrico del colector solar parabólico:

El procedimiento para calcular la longitud equivalente de la tubería es el siguiente:

Al realizar el enrollado de la tubería en espiral, la reducción total entre dos pasos consecutivos es:

$$R = a + b$$

Dónde: **a** reducción inferior de la tubería, **b** reducción superior del tubo de polietileno. En cada componente aparece el ángulo de inclinación del calentador β , y el α ángulo de inclinación de la tubería en espiral.

$$R = Wcos(\beta - \alpha) + Wcos(\beta - \alpha)$$
$$R = W[cos\beta cos\alpha + sen\beta sen\alpha + cos\beta cos\alpha - sen\beta sen\alpha]$$

Simplificando:

$$R = W[2cos\beta cos\alpha]$$

La longitud de una circunferencia es

$$Lc = \pi D$$

Aplicando este criterio a la longitud total de la circunferencia para las espiras inclinadas del paraboloide se tiene:

$$L_T = \pi \sum_{i=0}^{n-1} \left[\frac{Do}{Cos\alpha} - 2iWcos\alpha cos\beta\right] \quad (21)$$

Dónde:

Un número de espiras, en este colector son 8; Do diámetro medio de las espira inferior, en m.; α ángulo de inclinación de la tubería; β ángulo de inclinación del colector solar parabólico esférico (CSPE); W separación entre

centros de dos tuberías consecutivas; i este índice varia de $0 \leq i \leq n-1$ espiras;

Es necesario indicar que la longitud de la espira inferior es $\frac{Do}{Cos\alpha} = Lo$, a partir de esta dimensión se calcula mediante diferencias, las longitudes de las otras espiras de la tubería del absorbedor.

Área del colector solar parabólico con tubos en espiral

Se propone la utilización de dos procedimientos, el primero, si se toma en consideración la forma de un cono truncado y el segundo, de mayor aproximación si se considera la superficie de un paraboloide de revolución.

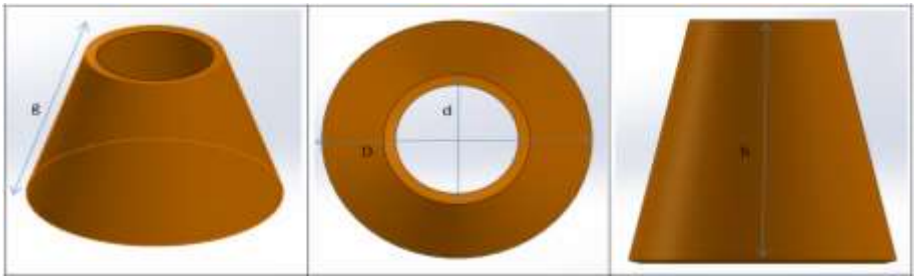


Figura 18. Representación esquemática de un cono truncado

El área de un cono truncado se calcula con la expresión

$$Al = \frac{\pi}{2} g(D + d) \tag{22}$$

Dónde:

Al área superficial del cono, en m²; **D** diámetro mayor; **d** diámetro menor, en m; **h** altura del cono. El valor de **g** se determina por

$$g = \sqrt{\left(\frac{D-d}{2}\right)^2 + h^2} \tag{23}$$

Área superficial del paraboloide

$$A_p = \frac{8\pi}{3}\left(\sqrt{P(P+h)^3} - P^2\right) \quad (24)$$

4.2.2 Coeficiente global de transferencia de calor

Para determinar el coeficiente global de transferencia de calor (**UL**) del colector en espiral, se utiliza el método de resistencias térmicas.

Resistencia de convección interna:

Corresponde al fluido que circula por la parte interior de la tubería de polietileno, corresponde al agua caliente sanitaria.

$$R_i = \frac{1}{2\pi r_i L hi} \quad (25)$$

Resistencia por conducción en la tubería de polietileno:

$$Rp = \frac{\ln\left(\frac{ro}{ri}\right)}{2\pi k_p L} \quad (26)$$

Resistencia a la transferencia de calor en la región anular:

En la región que se encuentra en entre la cubierta de PET y la tubería de polietileno, se encuentra aire en estado de estancamiento, por lo que se produce convección natural.

$$Ro = \frac{1}{2\pi reLho} \quad (27)$$

Resistencia a la conducción en la envolvente de PET:

$$Rc = \frac{\ln\left(\frac{r2}{r1}\right)}{2\pi L k_{pet}} \quad (28)$$

Resistencia por convección externa:

$$Re = \frac{1}{2\pi r2 L he} \quad (29)$$

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor para paredes exteriores, se utiliza la ecuación de Wattmuff.

$$he = 2.8 + 3\,V_{aire} \quad (30)$$

Dónde:

hi coeficiente de convección interna del agua; ho coeficiente de convección del aire que se encuentra estancado en la región anular; he coeficiente de convección externo

Por lo tanto el coeficiente global de transferencia de calor para el calentador solar en forma de tubos concéntricos es:

$$Ui = \frac{1}{Ai \sum Rt} \quad (31)$$

$$Ai = 2\,\pi\,r_i\,L \quad (32)$$

$$Ui = \frac{1}{2\pi r_i L\left[\frac{1}{2\pi r_i L\,h_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2k_p L\pi} + \frac{1}{2\pi r_e L h_o} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_c} + \frac{1}{2\pi\,r_2 L h_e}\right]} \quad (33)$$

Simplificando:

$$Ui = \frac{1}{\left[\frac{1}{h_i} + r_i\frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{k_p} + \frac{r_i}{r_e\,h_o} + \frac{r_i \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{kc} + \frac{r_i}{r_2\,h_e}\right]} \quad (34)$$

Otro procedimiento para determinar el coeficiente de transferencia de calor es mediante el uso la tabla de Beek[14]

Líquido en circulación: Agua

$$\overline{he} = 3000 - 10000 \quad \left(\frac{W}{m^2 ℃}\right)$$

Gas convección libre: aire en la región anular

$$\overline{hc} = 10 - 100 \quad \left(\frac{W}{m^2 ℃}\right)$$

Radiador de calefacción central

$$U = 5 - 15 \quad \left(\frac{w}{m^2 ℃}\right)$$

4.3 Diseño térmico del acumulador

El calor útil para calentar el agua del acumulador se determina por la fórmula del calor sensible.

$$Q_u = \frac{M}{Hsp}\ Cp\ (T_2 - T_1) \qquad (35)$$

Dónde:

M masa de agua, en kg; HSP Horas de sol pico; Cp Calor específico del agua, en Kcal/Kg °C; T1, T2 Temperatura de red y temperatura final del agua, en °C.

[14] (K.M.Muttzal, 1975)

Por otra parte, existe una pérdida de calor en el acumulador, que se produce por la pared cilíndrica compuesta, formada por cilindro de polietileno, aislante térmico natural y envoltura de acero al carbono. El calor perdido por las paredes del acumulador se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_p = U_o \, A_o \, \Delta T \tag{36}$$

Dónde:

U_o coeficiente global de transferencia de calor; A_o área de la pared exterior del acumulador; ΔT diferencia de temperatura.

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor, se tiene

$$U_o = \frac{1}{\frac{R_2}{R_i \, h_i} + \frac{R_2\left[In\left(\frac{R_O}{R_1}\right)\right]}{kp} + \frac{R_2\left[In\left(\frac{R_1}{R_O}\right)\right]}{k_{ais}} + \frac{R_2\left[In\left(\frac{R_2}{R_1}\right)\right]}{ka} + \frac{1}{h_e}} \tag{37}$$

Dónde:

k_p: Conductividad térmica de la tubería de polietileno, k_{ais} conductividad térmica de la lana natural, k_a del acero, h_e coeficiente de conversión externo.

Por lo tanto, el calor necesario para calentar el agua es

$$Q_N = Q_u + Q_p \tag{38}$$

4.4 Análisis hidráulico

Un parámetro importante en el análisis hidráulico, consiste en la determinación de la potencia de bombeo P_b, necesaria para impulsar el agua desde el acumulador hasta el calentador, venciendo las pérdidas por longitud y accesorios. Así como también la altura que separa a los componentes de la instalación:

$$P_b = \frac{g\ Q\ H_t\ \delta}{nb\ \ nm} \tag{39}$$

Dónde:

nm eficiencia del motor eléctrico, superior al 90 %; nb eficiencia de la bomba, entre el 50 y el 65 %; H_t altura total, en m; δ densidad del agua, en Kg/m³; g aceleración de la gravedad, 9.81 m/s².

El caudal Q, de agua a elevar durante las horas de sol pico (HSP), es

$$Q = \frac{V}{Hsp} \tag{40}$$

Además, que el volumen de agua que debe atravesar por la tubería de polietileno

$$Q = Av \tag{41}$$

Dónde:

A área interior de la tubería, en m²; v velocidad del agua, en m/s.
Por otra parte, la altura total H_t, es la suma de la altura geográfica H_g ; y la altura de pérdidas H_p

$$H_t = H_g + H_p \tag{42}$$

En el sistema de bombeo del agua caliente, se producen pérdidas por longitud y en accesorios.

$$H_p = H_{pl} + H_{pacc} \tag{43}$$

4.5 Diseño del sistema de bombeo fotovoltaico

Energía demandada para bombeo

$$E_d = P_b t$$

Energía de un panel

$$E_{panel} = Preal \;\; Hsp$$

Numero de paneles fotovoltaicos

$$N = \frac{E_d}{E_{panel}}$$

Dónde:

P_b Potencia de bombeo; t es el tiempo de bombeo; $Preal$ potencia real de un panel; Hsp horas de sol pico.

4.6 Implementación y montaje del calentador

Para realizar el montaje del calentador se sigue la secuencia indicada a continuación:

Figura 19. Tubería de polietileno y envolturas de PET

Figura 20. Calentador parabólico

Figura 21. Acumulador de 600 litros

Figura 22. Aislamiento térmico con lana natural

Figura 23. Bomba sumergida en el acumulador

Figura 24. Acumulador de 600 litros

Figura 25. Colector solar parabólico y acumulador

4.7 Pruebas de funcionamiento

Figura 26. Llenado del recipiente de acumulación de ACS

Figura 27. Toma de datos de radiación solar

Figura 28. Medición de temperaturas del colector

Figura 29. Medición potencia, voltaje y amperaje

Figura 30. Medición de caudal

CAPITULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Determinación de la curva de rendimiento

En esta investigación se realizan 13 ensayos de calentamiento de agua con energía solar, utilizando el colector parabólico con tubos concéntricos en espiral y circulación del fluido por convección forzada por medio de una bomba sumergible que funciona con un panel fotovoltaico. Para el análisis se utilizan los datos del Ensayo 2 que se registra en el Anexo A.

En la figura 31 se puede observar los perfiles de temperatura correspondientes a la entrada y salida del colector, es decir T1 y T2. Además se tiene la temperatura de la superficie parabólica y del ambiente. El valor promedio de T1 es de 32,02 °C; y el de T2 es de 36,26 °C.

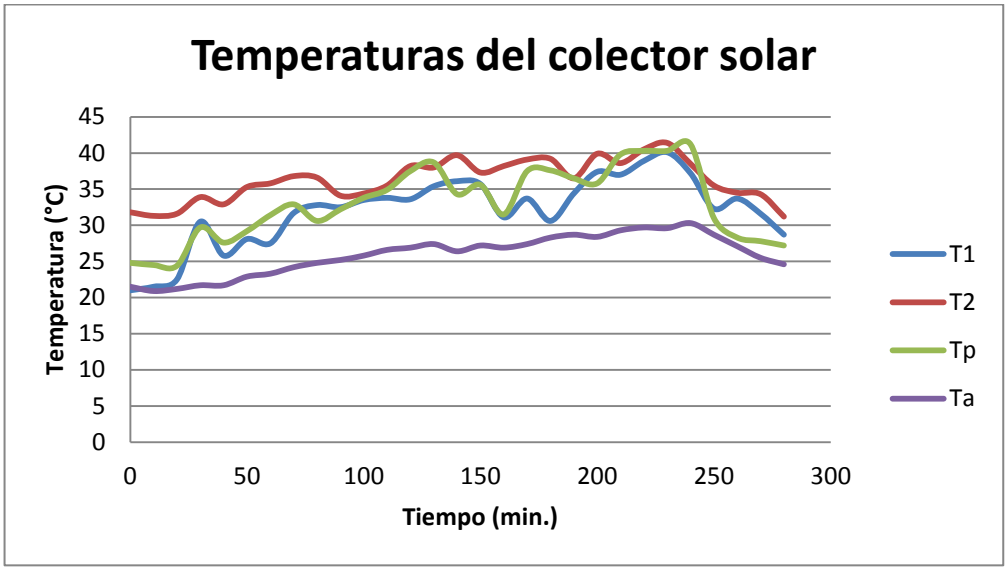


Figura 31. Perfil de temperaturas del colector solar en espiral

En la figura 32, la temperatura máxima **Tw**, del agua en el acumulador es de 41°C, para un tiempo de calentamiento de 4.3 horas. La temperatura promedio ambiental, es de 25,94°C.

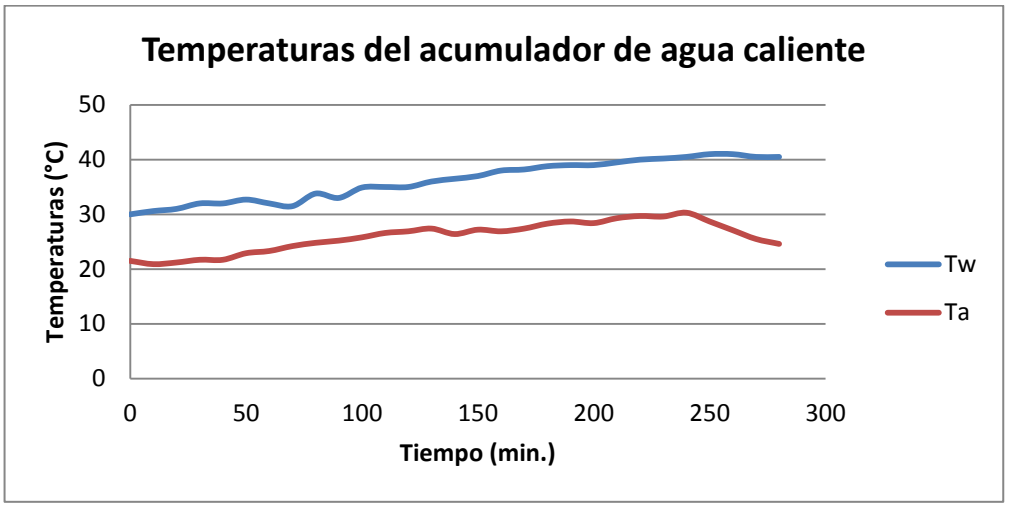


Figura 32. Incremento de temperatura del agua del acumulador

En el ensayo 2, la eficiencia promedio instantánea, que es la razón entre el calor útil y el calor absorbido por el captador solar, es del 55%,

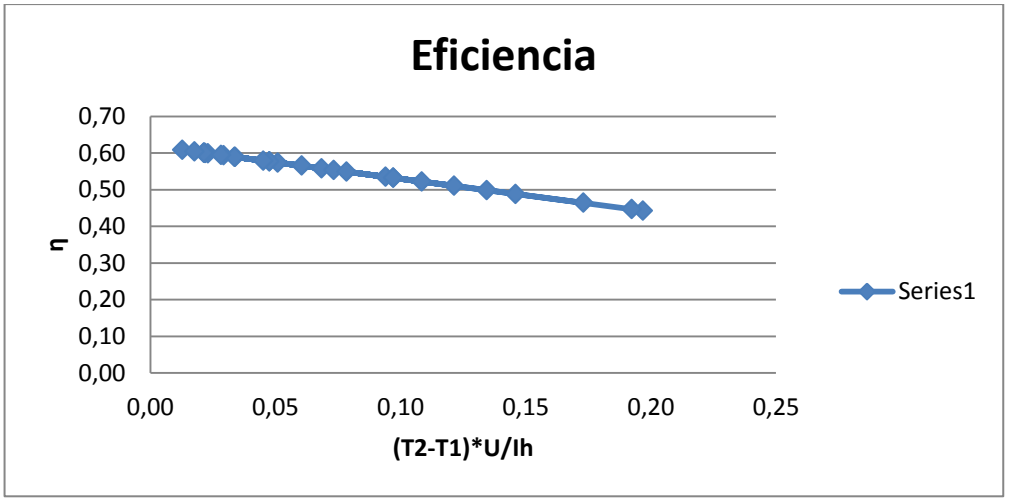


Figura 33. Eficiencia instantánea del colector

Utilizando la figura 34, se puede indicar, que la radiación solar promedio diaria, es de 454,38 W/m²

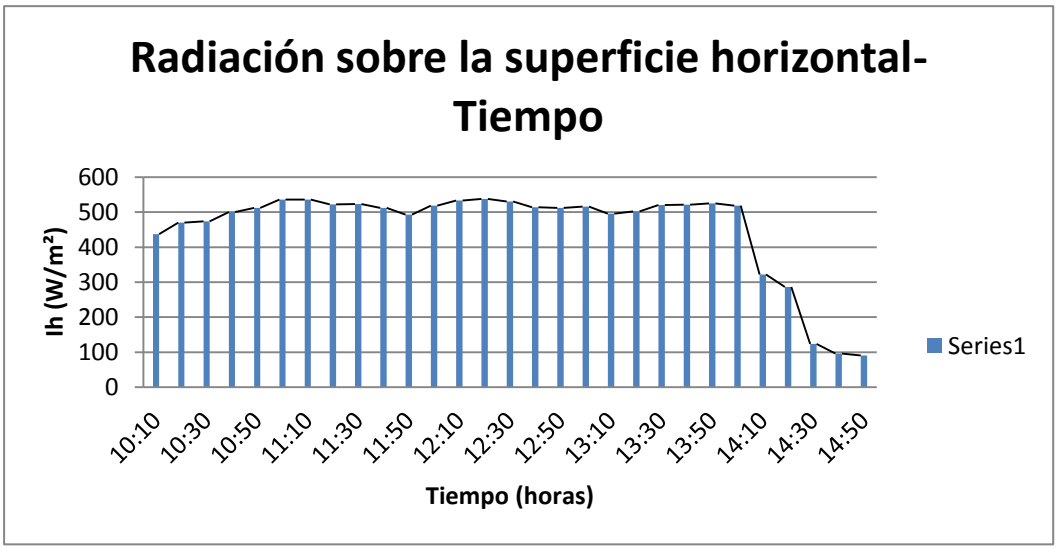


Figura 34. Radiación solar global

Considerando los datos establecidos en la tabla 4, se tiene que para todos los experimentos realizados la eficiencia promedio es del 59,3%. Este valor es superior al rendimiento de colectores fabricados con tubos de cobre, y cubierta de vidrio.

Tabla 4

Eficiencia energética y temperatura del acumulador

ENSAYO	Ih	Q	T1	T2	Ta	η	Tw
1	495,05	5,64	26,04	27,74	21,24	58	32
2	454,38	5,87	32,02	36,26	25,94	55	40,5
3	630,59	5,92	24,39	29,14	21,04	61	35
4	276,52	4,26	19,12	20,37	18,05	53	25,5
5	743,64	6,01	23,86	27,37	19,51	59	37
6	94,92	6,12	27,3	29,97	20,15	58	40
7	600,45	5	28,38	29,61	22,5	58	39
8	601,27	5,77	29,87	31,80	22,4	58	40
9	657,65	5,4	29,45	30,87	21,76	66	38
10	661,11	5,25	27,58	28,77	21,07	58	38
11	572,86	5,83	25,96	26,78	19,38	61	32,5
12	703,46	6,33	27,31	28,63	20,18	67	35,5
13	540,58	5,89	29,2	30,48	20,68	59	39
	541,0	5,6	27,0	29,1	21,1	59,3	36,3

5.2 Relación área de colector con volumen de calentamiento

El área del captador parabólico (A_l) se calcula con el siguiente procedimiento:

$$A_l = \frac{\pi g(D + d)}{2}$$

$$A_l = \frac{\pi(0.74)(3.1 + 1.9)}{2}$$

$$A_l = 5.81 \text{ m}^2$$

El volumen (M) que calienta el colector solar parabólico es de 500 litros, o su equivalente de 500 Kg de agua.

Si se hace referencia a las especificaciones técnicas del CTE (Código Técnico de la Edificación), el rango de volumen a calentar por día en colectores planos es:

$60 \leq \frac{M}{A} \leq 100$ (Litros /m²día)

Aplicando esta referencia al colector solar parabólico, se tiene

$\frac{M}{A} = \frac{500}{5.81} = 86$ (Litros /m²día)

Este valor se encuentra dentro de rango del Código Técnico de la Edificación (CTE). Por lo tanto se considera un parámetro aceptable. Es decir, este sistema, cumple con la normativa internacional vigente.

5.3 Relación volumen de acumulación y volumen de calentamiento

El volumen de acumulación (V), puede coincidir con el volumen que calienta el sistema solar diariamente

$$\frac{V}{M} \equiv 1$$

Las especificaciones técnicas existentes son:

$$0.8 \leq \frac{V}{M} \leq 1.2$$

En este caso, el volumen de acumulación coincide con el volumen que calienta el captador solar parabólico.

5.4 Análisis energético con la ecuación de Bliss-Hotel Whillier

Para el cálculo se utilizan datos de la tabla 4, correspondiente al ensayo 2, a los que se incluyen los siguientes valores: Factor de remoción de calor F_R=0.9; τ transmisividad de la cubierta de PET, 0.85; α absortancia del tubo de polietileno, 0.9; factor de sombra y suciedad k, 0.9, y U_L coeficiente global de transferencia de calor, 5 W/m²°C, según BEEK[15]

$$Q_u = F_R A_l (E\tau\alpha k - U_L(T_2 - T_a))$$
$$Q_u = (0.9)(5.81)[(454.38)(0.85)(0.9)(0.9) - 5(41 - 25.94))$$
$$Q_u = 1242 \text{ w}$$

El calor útil transferido al agua por el colector solar parabólico, es de 1242 Wt

[15] (K.M.Muttzal, 1975)

5.5 Gradiente de temperatura en el acumulador

Tabla 5

Pérdida de temperatura del agua en el acumulador

ORDEN	FECHA	HORA	Tw	Ta	VOLTAJE	AMPERAJE	CAUDAL
		(hr)	(°C)	(°C)	(V)	(A)	(lpm)
1	14/04/2014	16:00	42	22			
2	15/04/2014	7:35	38	22			
3	15/04/2014	18:20	40	16			
4	17/04/2014	17:25	40	16			
5	20/04/2014	16:05	38	22			
6	24/04/2014	8:45	34	14			
7	25/04/2014	10:20	32	22	14,33	1,78	6,2
8	25/04/2014	17:00	38	20			
9	28/04/2014	7:30	32	16	10,12	1,12	4,4
10	29/04/2014	7:20	34	16			
11	29/04/2014	15:20	38	20	12,21	1,36	6,2
12	30/04/2014	10:50	34	20	6,6	0,63	2,4
13	30/04/2014	16:00	36	20	4,68	0,44	1,4
14	01/05/2014	7:00	32	16	4,51	0,41	2,4
15	02/05/2014	16:00	32	20	4,41	0,4	1,2
16	05/05/2014	7:50	30	20	8,36	0,83	4,4
17	05/05/2014	17:25	38	18			
18	06/05/2014	7:20	34	16	7,99	0,78	3,4
19	06/05/2014	17:40	36	20			
20	07/05/2014	7:05	32	16			
21	07/05/2014	16:30	36	18			
22	08/05/2014	7:20	32	16			
23	08/05/2014	16:30	32	16			
24	13/05/2014	7:10	32	16	7,15	0,69	3,6
25	13/05/2014	16:40	38	20	5,05	0,44	2
26	14/05/2014	7:00	34	16			
27	14/05/2014	16:30	35	20	5,17	0,46	2,2
28	15/05/2014	7:20	30	15			

Tomando en consideración los datos de la tabla 5, se puede indicar que la caída de temperatura del agua durante la noche es de 4 °C.

5.6 Perspectivas futuras

Para contribuir con la mejora tecnológica de este proyecto, se propone desarrollar nuevos temas de investigación, los cuales permitirán mejorar los parámetros de funcionamiento de este tipo de sistemas de calentamiento de agua con energía solar, que en la actualidad no se encuentran homologados, en vista de que son equipos de última generación que no están registrados en el estado del arte.

Entre los estudios técnicos más relevantes se pueden indicar los siguientes:

- Modelación matemática del colector solar en espiral, considerando estado estacionario y transitorio
- Determinación de la conductividad térmica del aislamiento térmico a partir de lana natural
- Hallar la velocidad óptima del flujo de agua para captar la mayor cantidad de radiación solar, variando el diámetro de la tubería interior
- Establecimiento de normativas sobre los parámetros de funcionamiento del colector solar parabólico, para aplicaciones de mayor alcance en la industria y la comunidad

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- El calentador solar parabólico con tubos concéntricos en espiral y circulación del fluido por bombeo fotovoltaico, tiene importantes innovaciones relacionadas con el tipo de material utilizado como aislamiento térmico, siendo seleccionada la lana natural con un espesor de 10 cm. La cual, solo permite una caída de temperatura de 4°C, durante la noche. El segundo componente de mejoramiento del sistema energético, comprende la geometría parabólica del calentador, el cual absorbe radiación difusa y directa de toda la bóveda celeste. Con esta geometría se puede calentar una mayor cantidad de agua durante las horas de sol pico (HSP). La otra innovación radica en el uso de un captador de tubos concéntricos, donde la cubierta de PET, reduce las pérdidas de calor por convección, y produce el efecto invernadero.

- La eficiencia energética de colectores planos de producción nacional alcanza el 50%, con temperatura de proceso de 65°C, en verano; el de tubos al vacío importado puede llegar al 80%, con temperaturas máximas de hasta 100°C. Sin embargo, estos sistemas utilizan materiales importados y complicados procesos de fabricación. El calentador solar parabólico desarrollado en esta investigación tiene una eficiencia cercana al 60% y alcanza una temperatura de proceso de 42°C.

- Este calentador solar parabólico, puede suministrar energía térmica, para calentar 500 litros de agua en un tiempo de 4.3 HSP. Con la ventaja de que toda el agua que se encuentre en el acumulador tiene una temperatura constante que al final del día alcanza los 42°C. Mientras que en los colectores planos, que tienen circulación del fluido por termosifón, existe estratificación de temperaturas. Es decir el calentamiento no es uniforme.

- El código técnico de la edificación (CTE) es una normativa española que establece una especificación para el volumen de agua que puede calentar por metro cuadrado de captador durante el día, el cual varía de 60 a 100 litros/m²dia. Este nuevo sistema energético, calienta 86 litros/m²dia, con lo que se puede indicar que se encuentra dentro de esta especificación técnica del CTE.

- El código técnico de la edificación establece que el volumen calentado puede ser equivalente al volumen del acumulador. Además, el rango de variación para esta especificación técnica es de 0.8 a 1.2. Por lo que en el desarrollo del equipo, se considera el promedio es decir el volumen de calentamiento es igual al volumen de acumulación.

- El colector parabólico desarrollado en este estudio está compuesto por 244 cilindros transparentes de PET, que origina el efecto invernadero entre la cubierta y el absorbedor compuesto por tubería de polietileno de 22 mm. El haz de tubos en espiral tiene en su parte más ancha 9 hileras y en la parte angosta 8 hileras, alcanzando una longitud del captador de 74 m., incluido la toma de entrada y salida del acumulador.

- Como se había indicado anteriormente, uno de los inconvenientes que presenta el acumulador de los calentadores térmicos

convencionales es la estratificación de temperaturas, debido al efecto termosifón. Es decir, una determinada masa de agua que se encuentra en la parte superior del recipiente está más caliente que la que se encuentra en el fondo del tanque. Esto afecta en la reducción de temperatura de líquido, cuando se realiza el proceso de mezclado. Además, la circulación del agua por convección natural es muy lenta a razón de 0.05 m/s. por estas razones en este nuevo modelo de calentamiento de agua sanitaria se utiliza convección forzada, mediante una bomba de 2.5 A., y 12 V., con lo cual se consigue sacar de forma rápida el calor del captador.

6.2 Recomendaciones

- Debido a que la matriz energética nacional requiere de nuevas fuentes y recursos alternativos, es necesario realizar nuevos proyectos de investigación relacionados con el estudio y análisis energético del conjunto compuesto por tubería de polietileno y cubierta de PET, para establecer las propiedades ópticas y térmicas del sistema.

- Se debe continuar con el estudio hidráulico de la instalación, poniendo especial interés en la variación diámetro interior de tubería y velocidad optima del fluido de proceso, a fin de optimizar la cantidad de material que requiere el calentador para satisfacer una determinada demanda de agua caliente.

- En el análisis energético del sistema de acumulación, es necesario determinar la conductividad térmica de la lana natural utilizando normativas que indiquen el tipo de ensayo del material, así como también, el equipo para la determinación de la conductividad térmica de este componente ecológico y natural, que se tiene disponibilidad en el País.

- Utilizando el método de elementos finitos, se debe analizar los modelos matemáticos de interacción energética entre la tubería y la cubierta de PET, tanto para el estado estacionario como para el transitorio y con esto obtener los perfiles de temperatura para el captador en espiral

Referencias Bibliografía

Andrea, P. (2013). *Solar Collectors with sheet and tube and roll bond.*

Assari. (2011). *Dual Purpose Solar Collector.* M.R.

Hamed, M. (2014). *Flate plate solar collector.*

Helal. (2010). *Solar Water Heater on Three parabolic seccion.* O,.

K.M.Muttzal, W. y. (1975). *Transport phenomena.* Nueva York: John Wiley & Sons Inc.

Madrid, A. (2009). *Curso de Energias Solar.* Madrid: AMB primera edicion.

Ortega. (2010). *Energias Renovables .* M.

PITTS, D. (1979). *Transferencia de calor.* Bogota: McGRANW-HILL.

Tang, R. (2011). *Tube Solar Water Heaters.*

Vicente, A. M. (n.d.). *Curso de Energia Renovable.*

Zorant, T. (2012). *Refector of solar thermal collector.* Pavlovic.

ANEXOS

ANEXO A: TABLAS DE ENSAYOS

ANEXO B: GRÁFICOS

ANEXO A: TABLAS DE DATOS DE ENSAYOS DEL COLECTOR PARABÓLICO CON BOMBEO FV

FECHA: Miércoles 29 de enero de 2014 **ENSAYO:1**

ORDEN	HORA	TIEMPO	ACUMULADOR DE AGUA CALIENTE				COLECTOR SOLAR PARABÓLICO				IRRADIANCIA				Ta	Vaire	$\left(\frac{T2-T1}{Ih}\right)*U$	η
			Tw	V	A	P	T1	T2	Tp	Q	Ih	Id	Ia	Icolector				
	(hr)	(min)	(°C)	(V)	(A)	(W)	(°C)	(°C)	(°C)	(lpm)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(°C)	(m/s)		
1	8:20	0	25	8,5	0,94	7,8	20,7	24	17,4	4,8	320	82	48	12,2	19,1	0,95	0,07	0,55
2	8:30	10	25	7,41	0,79	5,9	19,2	20,4	16,1	3,4	226	147	56,5	93,6	17,1	0,51	0,04	0,58
3	8:40	20	25	8,85	1	8,9	20,6	25	17	4	263	149	67,4	100,9	16,7	0,16	0,12	0,50
4	8:50	30	25	10,6	1,28	14,2	21,1	23,1	16,9	4,8	394	111	66,1	105,9	16,7	0,59	0,04	0,58
5	9:00	40	26	13,01	1,63	21	23	22,7	16,9	6	483	147	93,1	157	16,9	0,14	0,00	0,62
6	9:10	50	26	14,3	1,88	26,8	23,1	25,1	20,9	6,8	628	95,3	114	169	17,3	0,68	0,02	0,60
7	9:20	60	26	14,21	1,88	26,5	25,2	26	19,3	6,6	664	120	117,8	204	17,8	0,32	0,01	0,61
8	9:30	70	27	14,15	1,87	26,4	26,8	27,5	21,4	6,4	708	101	163	224	19,1	0,7	0,01	0,61

9	9:50	90	26	14,49	1,95	28,3	26,4	28,5	23	6,8	830	136	170	274,7	19,8	0,5	0,02	0,60
10	10:00	100	27	14,28	1,95	28,3	28,2	29,3	23,3	6,8	474	137	106	230	19,8	0,25	0,02	0,60
11	10:10	110	27	13,6	1,75	22,8	28,4	28,5	24,6	6,8	683	260	141,4	232	20,3	0,66	0,00	0,62
12	10:30	130	29	13,96	1,9	27,1	28,7	29,4	27,3	6,4	655,8	362,3	189	317	21,6	0,16	0,01	0,61
13	10:50	150	30	14,64	1,95	29,2	31,4	32	29,1	6,8	897,5	328,4	173,3	269	22,7	0,1	0,00	0,61
14	11:00	160	30	13,97	1,89	26,2	30,8	31,8	30,6	6,4	673,6	339	217,8	382,5	23,6	0,12	0,01	0,61
15	11:10	170	31	13,74	1,79	25,4	31	31,4	28,5	6,2	645,3	338,4	199,9	289,8	23,9	0,11	0,00	0,62
16	11:20	180	31	11,24	1,4	15,6	28,7	30,9	28,4	5,4	445,3	293,6	135,1	196,5	23,8	0,04	0,03	0,59
17	11:30	190	31	9,9	1,16	11,5	26,4	27,3	25,6	6,8	560,7	321,3	124	202,8	23,8	1,12	0,01	0,61
18	11:40	200	32	9,95	1,15	11,5	25,3	26,8	23,9	4,8	380,3	226,6	115	184,6	23,1	1,37	0,03	0,59
19	11:50	210	31	10,67	1,27	13,5	26,3	27,2	25,8	5	412,3	245,4	107,1	183,3	23,3	2,28	0,02	0,60
20	12:00	220	31	9,3	1,06	9,8	26,1	26,7	26,1	4,4	348,8	242,3	107,9	158,4	23,2	1,11	0,01	0,61
21	12:10	230	30	10,38	1,23	12,7	26,2	27,8	26,6	5	404,8	349,1	130,8	195,8	23,8	0,14	0,03	0,59
22	12:20	240	31	10,75	1,28	13,7	25,9	29,9	27,4	5,2	418,8	33,9	118,9	173,2	23,6	0,006	0,07	0,55
23	12:30	250	31	10,18	1,19	12,1	24,6	26,1	23,3	5	386,1	223,9	125	175,8	24	0,11	0,03	0,59
24	12:40	260	31	10,69	1,27	13,5	27,3	30,6	26,7	5,2	407,5	229,4	128,6	178,8	24,3	0,48	0,06	0,56
25	12:50	270	31	10,96	1,3	14,3	26,8	28	28,6	5,2	423,2	201,7	133,2	170,6	24,5	0,56	0,02	0,60
26	13:00	280	31	10,09	1,18	11,8	25,7	26,9	26,6	4,8	389,3	269,2	124,3	158,4	24,2	1,22	0,02	0,60
27	13:10	290	32	9,18	1,03	9,5	26,7	30,2	26,1	4,4	347,5	206,7	134,5	197,6	24,2	1,24	0,07	0,55
28	13:20	300	32	14,24	1,92	28,1	27,1	29	29,9	5,8	623,7	255,1	276,2	349,5	23,7	0,2	0,02	0,60
29	13:30	310	32	13,78	1,82	24,9	28,4	30,8	29,9	6,4	710,5	222,5	201,5	306,6	24,7	0,67	0,02	0,60
30	13:40	320	32	14,23	1,9	27,1	28,7	30,9	33,7	6,8	771,8	381,8	188,8	284,9	25,8	1,69	0,02	0,60
31	13:50	330	32	11,85	1,45	7,6	26,6	30,1	29,7	5,6	468,5	222,2	130,8	196,6	25,6	1,21	0,05	0,57
32	14:00	340	33	9,37	1,04	9,6	28,7	32,5	28,2	4,6	228,4	113,9	60,3	124,6	24,6	2,82	0,12	0,50
33	14:10	350	32	3,96	0,28	1	26,1	30,2	23,4	1,6	184,4	129,7	13,8	85,1	22	1,62	0,16	0,46
34	14:20	360	31				27,5	31,8	23,4		98	78,8	28,8	61,4	20,9	0,14	0,31	0,31
35	14:30	370	33				23,8	24,1	22,2		66,7	61,4	25,3	41,1	20,3	0,66	0,03	0,59
36	14:40	380	32				22,9	24,8	21,1		64,6	54,1	24,5	36,2	19,8	0,5	0,21	0,41
PROMEDIO			**28,94**	**11,83**	**1,49**	**18,49**	**26,04**	**27,74**	**24,06**	**5,64**	**495,05**	**201,59**	**123,40**	**192,16**	**21,24**	**0,61**	**0,04**	**0,58**

FECHA: Lunes 03/02/2014 **ENSAYO: 2**

ORDEN	HORA	TIEMPO	ACUMULADOR DE AGUA CALIENTE				COLECTOR SOLAR PARABÓLICO				IRRADIANCIA				Ta	Vaire	(T2-T1)*U/Ih	η
			Tw	V	A	P	T1	T2	Tp	Q	Ih	Id	Ia	Icolector				
	(hr)	(min)	(°C)	(V)	(A)	(W)	(°C)	(°C)	(°C)	(lpm)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(°C)	(m/s)		
1	10:10	0	30	14,25	1,81	25,5	21	31,8	24,8	6,6	437	128	141	232	21,5	0,15	0,17	0,46
2	10:20	10	30,6	14,42	1,85	26,5	21,5	31,3	24,5	6,6	470	135	104	240	20,9	1,24	0,15	0,49
3	10:30	20	31	14,44	1,86	26,8	22,5	31,6	24,4	6,6	474	129	156	259	21,2	2,1	0,13	0,50
4	10:40	30	32	14,37	1,82	26,2	30,5	33,9	29,7	6,6	500	178	146	234	21,7	2,07	0,05	0,58
5	10:50	40	32	14,24	1,81	25,9	25,8	32,9	27,6	6,6	512	163	142	250	21,7	1,8	0,10	0,53
6	11:00	50	32,7	14,43	1,84	26,8	28,1	35,3	29,2	6,6	536	246	139	256	22,9	0,56	0,09	0,54
7	11:10	60	32	14,31	1,85	26,1	27,5	35,8	31,4	6,6	536	140	134	244	23,3	1,24	0,11	0,52
8	11:20	70	31,5	14,24	1,82	25,8	31,7	36,8	32,9	6,5	522	154	135	245	24,2	1,35	0,07	0,56
9	11:30	80	33,8	14,32	1,82	26,1	32,8	36,6	30,6	6,6	523	215	160	258	24,8	0,32	0,05	0,57
10	11:40	90	33	14,21	1,79	25,7	32,5	34,1	32,2	6,6	512	185	140	232	25,2	2,04	0,02	0,60
11	11:50	100	34,9	14,16	1,81	25,4	33,5	34,4	33,8	6,5	493	511	134	548	25,8	0,58	0,01	0,61
12	12:00	110	35	14,29	1,8	25,7	33,8	35,5	34,9	6,6	518	146	140	227	26,6	0,97	0,02	0,60
13	12:10	120	35	14,2	1,83	26	33,6	38,2	37,5	6,6	533	220	147	233	26,9	0,17	0,06	0,57
14	12:20	130	36	14,08	1,78	25,2	35,4	38	38,7	6,6	538	225	179	233	27,4	1,13	0,03	0,59
15	12:30	140	36,5	14,43	1,85	26,6	36,1	39,7	34,3	6,4	530	183	174	231	26,4	1,74	0,05	0,58
16	12:40	150	37	14,39	1,84	26,4	35,7	37,3	35,6	6,6	514	251	167	221	27,2	2,91	0,02	0,60
17	12:50	160	38	14,34	1,83	26,3	31,1	38,2	31,5	6,4	512	236	163	218	26,9	1,06	0,10	0,53
18	13:00	170	38,2	14,35	1,85	26,7	33,7	39,1	37,5	6,4	516	202	168	218	27,4	0,23	0,07	0,55
19	13:10	180	38,8	14,04	1,8	25,2	30,6	39,2	37,6	6,4	496	231	162	204	28,3	1,03	0,12	0,51
20	13:20	190	39	14,18	1,83	25,6	34,4	36,5	36,5	6,4	502	220	172	195	28,7	1,46	0,03	0,59
21	13:30	200	39	14,27	1,83	26,3	37,4	39,9	35,8	6,4	520	224	135	195	28,4	1,28	0,03	0,59
22	13:40	210	39,5	14,3	1,83	26,4	37	38,6	39,8	6,4	521	230	130	188	29,3	0,58	0,02	0,60
23	13:50	220	40	14,15	1,82	25,4	38,9	40,5	40,3	6,4	525	261	171	188	29,7	0,27	0,02	0,60
24	14:00	230	40,2	12,04	1,68	19,2	40,1	41,4	40,3	6,4	518	353	184	177	29,6	0,86	0,02	0,60
25	14:10	240	40,5	14,34	1,84	26,3	37,2	38,5	41,2	6,4	322	296	141	206	30,3	0,45	0,03	0,59
26	14:20	250	41	10,41	1,18	12	32,3	35,5	31	4,6	286	223	101	136	28,7	0,93	0,08	0,55
27	14:30	260	41	5,8	0,56	3,1	33,7	34,5	28,3	1,6	124	139	65	81	27,1	171	0,05	0,58
28	14:40	270	40,5	3,57	0	0	31,6	34,3	27,8	1,1	96	114	49	61	25,5	1,7	0,20	0,44
29	14:50	280	40,5	0	0	0	28,7	31,2	27,2	0	91	121	21	46	24,6	3,7	0,19	0,45
PROMEDIO			**36,18**	**12,92**	**1,63**	**22,73**	**32,02**	**36,23**	**33,00**	**5,87**	**454,38**	**208,93**	**137,93**	**215,72**	**25,94**	**7,07**	**0,07**	**0,55**

FECHA: Martes 04/02/2014 **ENSAYO: 3**

ORDEN	HORA	TIEMPO	ACUMULADOR DE AGUA CALIENTE	COLECTOR SOLAR PARABÓLICO				IRRADIANCIA				Ta	Vaire	(T2-T1)*U/Ih	η
			Tw	T1	T2	Tp	Q	Ih	Id	Ia	Icolector				
	(hr)	(min)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(lpm)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(°C)	(m/s)		
1	7:50	0	23	16,5	20,2	14,2	3,2	155	51	31	122	16,5	0,11	0,17	0,60
2	8:00	10	24,5	16,7	23,1	15,2	3,8	280,5	64,1	31,8	160	16,2	0,1	0,16	0,60
3	8:10	20	24,5	18	23	17,3	4,4	405,8	101,7	44,6	188	16	0,24	0,09	0,61
4	8:20	30	24,5	19,9	25,1	18,9	5,3	474,9	117,1	56	202,6	16,3	0,34	0,08	0,61
5	8:30	40	24,5	17,5	25,8	17,8	5,4	438	100,4	74,5	171,3	16,8	0,3	0,13	0,60
6	8:40	50	24,5	18,6	24,4	18,2	4,5	257,5	99,4	66,1	130,1	17,4	1,26	0,16	0,60
8	9:00	70	24,5	18,1	22,5	16,2	3,9	224	104	53,4	139,1	17,1	1,64	0,14	0,60
9	9:10	80	24,5	18,6	24,3	18,5	4,6	306	98,9	71,4	107,7	17,2	0,16	0,13	0,60
10	9:20	90	25	19,5	26,2	21,3	6,6	641	127	109,5	230,5	18	0,3	0,07	0,61
11	9:30	100	25,5	20,4	25,8	18,3	6,4	697,5	127,9	85,3	309,8	18,5	0,26	0,05	0,61
12	9:40	110	26	19,1	23,8	18,8	6,6	647,2	133,7	106,1	284,8	18,5	2,3	0,05	0,61
13	9:50	120	26,5	23,3	28,9	22,2	6,5	694	127,7	112,1	272,4	18,9	0,52	0,06	0,61
14	10:00	130	26,5	21,2	28,6	24,1	6,6	746,2	143,9	102,5	248,2	19,2	0,53	0,07	0,61
15	10:10	140	27	20,3	28,1	24,5	6,7	750,2	174,9	112,4	313,4	19,6	0,23	0,07	0,61
16	10:20	150	27,5	24,3	27,6	25,8	6	478,6	202,8	121,4	278,3	20,5	1,12	0,05	0,61
17	10:30	160	28	27,5	29,2	27,3	6,6	781,2	264,4	146,8	269,1	20,5	1,1	0,02	0,62
18	10:40	170	28	25,2	28,7	27,3	6,5	568	199,2	103,1	269,2	21	0,37	0,04	0,61
19	10:50	180	29	27,3	30,1	28,8	6,8	840,1	386	164,4	292,1	21,4	0,13	0,02	0,62
20	11:00	190	29	25,1	31,8	30,3	6,8	917,6	221,7	141	344,5	21,8	0,59	0,05	0,61
21	11:10	200	29,8	22,5	30,9	28,1	6,8	870,1	232,1	145,3	288,1	21,6	1,95	0,07	0,61
22	11:20	210	30	25,1	30,5	30,3	6,7	872,2	212,7	154,9	273,4	21,8	1,8	0,04	0,61
23	11:30	220	31	26	30,6	30	6,8	911,1	215,6	155,1	285,5	21,9	0,43	0,04	0,61
24	11:40	230	31	26,6	31,2	33,1	6,7	988,5	988,5	527,5	294,1	22,6	0,63	0,03	0,61
25	11:50	240	32	27,8	31,6	31	6,4	955,9	205,4	156,3	283,3	23,2	1,56	0,03	0,62

26	12:00	250	32	30	31,7	30,6	6,3	931	217,1	156,5	303,2	22,9	1,2	0,01	0,62
27	12:10	260	32	28	31,1	32,2	6,8	908,7	367,5	174,9	283,7	23,7	0,68	0,02	0,62
28	12:20	270	33	27,6	31,7	31,2	6,8	424	283,2	110,3	233,4	23,6	2,76	0,07	0,61
29	12:30	280	33,5	27,1	32	31,7	6,4	810,9	245,3	138,5	290,1	23,5	0,96	0,04	0,61
30	12:40	290	34	22,7	34,1	30,1	6,8	927,2	277,4	137,8	270,3	24,1	0,77	0,09	0,61
31	12:50	300	34	22,4	31,3	32,5	5,6	450,3	293,7	77,6	229,3	24,7	1,06	0,14	0,60
32	13:00	310	33,5	33,4	34,8	33,7	6,8	846,6	265,3	164,1	282,7	24,1	0,31	0,01	0,62
33	13:10	320	34,5	33,6	35,2	35,2	6,6	852,5	228,3	172,8	256,2	25	1,77	0,01	0,62
34	13:20	330	35	29,3	31,3	31,5	6,6	318,4	212,3	58,9	167,9	24,4	0,8	0,04	0,61
35	13:30	340	35	26,4	30	31,8	5	389,2	212,1	96,4	176,9	23,8	0,37	0,06	0,61
36	13:40	350	35	31,8	33,4	30,9	6,8	841,7	253,5	184,7	306,9	24,3	2,49	0,01	0,62
37	13:50	360	35,5	30,2	33,4	31,7	6,6	877,9	236,2	225,3	317,3	24,8	0,27	0,03	0,62
38	14:00	370	35,5	27	32,8	24,4	4,4	272,3	116,3	73,4	118,3	25	1,95	0,15	0,60
39	14:10	380	35	32,4	32,7	25,6	3	210,6	92,9	47,4	96	23,2	2,21	0,01	0,62
PROMEDIO			**29,57**	**24,39**	**29,14**	**26,07**	**5,92**	**630,59**	**210,56**	**123,45**	**239,20**	**21,04**	**0,94**	**0,07**	**0,61**

FECHA: Miércoles 05/02/2014 **ENSAYO: 4**

ORDEN	HORA	TIEMPO	ACUMULADOR DE AGUA CALIENTE				COLECTOR SOLAR PARABÓLICO				IRRADIANCIA				Ta	Vaire	(T2-T1)*U/Ih	η
			Tw	V	A	P	T1	T2	Tp	Q	Ih	Id	Ia	Icolector				
	(hr)	(min)	(°C)	(V)	(A)	(W)	(°C)	(°C)	(°C)	(lpm)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(°C)	(m/s)		
1	8:10	0	23				12,1	13,1	12		78,6	44,1	8,2	31,3	15,3	0,45	0,09	0,53
2	8:20	10	22,5				13,6	15,5	13,9		93,2	44,8	10	37,8	14,8	0,09	0,14	0,48
3	8:30	20	22				14,7	17,2	15,1		124,1	58,1	14,7	45,3	14,9	0,26	0,14	0,48
4	8:40	30	22				14,7	17	15		121,4	69,3	14,7	46,7	15	0,24	0,13	0,49
5	8:50	40	22				15,5	18,5	16,2		119,7	92,4	15,5	49,7	15	1,19	0,18	0,44
6	9:00	50	22				15,3	17,1	16,3		146,2	108,2	17,1	63,3	15,1	0,19	0,09	0,53
7	9:10	60	22	6,78	0,7	4,8	16,2	18,8	17,3	3	202,1	148,3	23,7	94,5	15,9	0,53	0,09	0,53
8	9:20	70	22	8,51	0,89	7,5	18,6	20,6	18,5	4	276,5	143,5	31,6	106,5	16,4	0,2	0,05	0,57
9	9:30	80	22	8,85	0,92	8,2	18,4	21,5	19	4,1	298,6	177,1	40,1	115,2	16,5	0,13	0,07	0,55
10	9:40	90	21,5	9,04	0,94	8,5	19,7	21,2	18,7	4,3	315,7	198,5	32,8	130,6	17	1,35	0,03	0,59
11	9:50	100	21,5	10,22	1,12	11,5	18,5	22	20,4	5	340,5	151,3	40,1	154,7	17,1	0,14	0,07	0,55
12	10:00	110	22	10,37	1,14	11,7	19,7	22,3	19,8	4,8	357,3	155,5	48,7	153,6	17,3	0,42	0,05	0,57
13	10:10	120	22	10,97	1,24	13,4	19,1	22,1	20,2	5,2	397,6	187,7	56,8	174,4	17,8	0,27	0,05	0,57
14	10:20	130	22,5	10,87	1,21	13,1	19,8	22,5	19,6	5,2	358,6	139,1	43,5	156,6	18,2	0,24	0,05	0,57
15	10:30	140	22,5	9,24	0,95	8,9	18,3	22,2	18,8	4,6	329,2	145	46,1	147,1	17,8	0,28	0,08	0,54
16	10:40	150	22,5	8,14	0,81	6,4	19,6	22,5	20,3	3,8	258,1	147,4	35,5	117,7	17,6	0,52	0,08	0,54
17	10:50	160	22,5	7,56	0,77	5,9	22,4	24,4	21,1	3,6	255,2	140,1	49,3	133,4	18	0,34	0,05	0,56
18	11:00	170	22,5	9,55	1,03	9,8	19,5	23,9	21,1	4,8	342,3	182	53,9	145,3	18,8	0,13	0,09	0,53
19	11:10	180	23	9,74	1,04	10,1	19,8	23,9	22,3	4,7	317,5	174	54,4	173,9	18,9	0,31	0,09	0,53
20	11:20	190	23	10,67	1,17	12,3	19,7	22,9	20,1	4,9	357,3	180,3	52,9	159,8	18,8	0,47	0,06	0,56
21	11:30	200	23	10,47	1,15	12,2	20,7	23,4	21,9	5	351,6	169,9	53,4	163,1	18,5	0,32	0,05	0,57
22	11:40	210	23	11,07	1,22	13,3	19,4	23,1	21,4	5,2	381,1	204	58,3	169,5	19,2	1,1	0,07	0,55
23	11:50	220	23,5	11,17	1,25	13,9	18,7	22,5	20,7	5,2	388,2	137,7	53,1	165,5	19,2	1,63	0,07	0,55

24	12:00	230	23,5	8,45	0,85	7	19,2	23,7	20,5	4,2	253,6	99,1	35,7	116,7	18,6	0,13	0,12	0,50
25	12:10	240	23,5	6,74	0,61	4,1	18,7	22,7	19,6	3,2	212,5	99,5	23,7	95,7	18,3	1,28	0,13	0,49
26	12:20	250	23,5	5,75			19,2	23,5	20,3	2,8	182,3	70,5	23,8	83,1	18,1	0,47	0,17	0,45
27	12:30	260	23,5	5,5			19,5	23,7	19,3	2,4	157,2	82,7	22,7	80,1	17,8	0,42	0,19	0,43
28	12:40	270	23,5	5,46	0,13		20,1	23	19,8	2,6	164,6	73,7	25,5	91,4	17,9	1,1	0,12	0,50
29	12:50	280	23,5	6,92	0,67	4,6	18,9	23,3	20,8	3,3	227,1	113,4	35,2	115,5	18,1	0,24	0,14	0,48
30	13:00	290	23,5	7,9	0,7	6,1	19,7	23,3	21,7	3,8	235,5	120,4	39,4	126,3	18,4	0,19	0,11	0,51
31	13:10	300	24	8,89	0,9	8,1	20,6	22,5	22,5	4,2	302,4	129,7	40,9	121,4	19,2	0,41	0,04	0,58
32	13:20	310	24	10,58	1,16	12,2	20,4	24	24,3	5	364,8	150,1	58,3	165,7	19,9	0,42	0,07	0,55
33	13:30	320	24	11,69	1,3	15,4	20,1	24,6	24,6	5,4	421,6	152,6	54,4	199,6	20,3	0,18	0,07	0,54
34	13:40	330	24,5	11,05	1,23	13,1	20,8	24,7	25,3	5,2	403,9	121,3	60,1	167,1	20,3	0,54	0,07	0,55
35	13:50	340	25	10,11	1,06	10,7	21,6	25	24,6	4,8	342,3	104,8	56	129,5	20,1	0,3	0,07	0,55
36	14:00	350	24,5	9,22	0,93	8,9	19,5	24,2	23,5	4,4	304,5	98,3	46,1	127,4	20,1	0,68	0,11	0,51
37	14:10	360	25	8,97	0,91	8,1	21,4	24,9	22,9	4,4	287,4	116,2	48,4	115,2	19,9	0,25	0,09	0,53
38	14:20	370	25	7,75	0,75	5,7	22,2	25,1	21,3	3,8	239,5	121,2	33	104,2	19,6	0,45	0,08	0,53
39	14:30	380	25	7,09	0,67	4,8	20,2	25,4	22,3	3,2	248,1	121,7	34,4	114,9	19,1	0,91	0,15	0,47
40	14:40	390	25	8,07	0,79	6,3	22,1	23,1	25	3,6	278,3	109,8	38,9	118,6	19,2	0,33	0,03	0,59
42	14:50	400	25,5	9,73	1,04	10,1	22,1	25,2	22,7	4,4	363,8	136,7	47,9	141,8	19,6	0,64	0,06	0,56
43	15:00	410	25,5	11,05	1,22	13,5	22,6	25,5	24,9	5,2	413,9	135,6	61,7	153,9	20,3	0,96	0,05	0,57
PROMEDIO			**23,24**	**9,00**	**0,96**	**9,40**	**19,12**	**22,28**	**20,37**	**4,26**	**276,52**	**127,51**	**39,06**	**121,51**	**18,05**	**0,49**	**0,09**	**0,53**

FECHA: Jueves 06/02/2014 **ENSAYO: 5**

ORDEN	HORA	TIEMPO	ACUMULADOR DE AGUA CALIENTE				COLECTOR SOLAR PARABÓLICO				IRRADIANCIA				Ta	Vaire	((T2-T1)*U)/Ig	η
			Tw	V	A	P	T1	T2	Tp	Q	Ih	Id	Ia	Icolector				
	(hr)	(min)	(°C)	(V)	(A)	(W)	(°C)	(°C)	(°C)	(lpm)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(°C)	(m/s)		
1	7:40	0	20,5				13,6	16,3	12,2	0	134,4	69,8	24,9	65,3	13,9	0,91	0,14	0,49
2	7:50	10	20,5				14,3	17,2	12,8	3	277,6	87,4	49,3	233,9	13,9	0,41	0,07	0,55
3	8:00	20	20				14,2	19	14,9	3,7	255,3	80,6	49,8	146,6	14,1	0,11	0,13	0,50
4	8:10	30	20				14,5	19,1	14,1	5,4	460,5	89,8	120,6	272,1	14,4	0,13	0,07	0,56
5	8:20	40	20,5				15,6	21,2	13,6	5,7	500,4	89,5	128,5	242	14,8	0,42	0,08	0,55
6	8:30	50	21				14,5	20,2	13,7	6,2	555,7	72,5	102	242,3	14,8	0,43	0,07	0,56
7	8:40	60	21				14,1	19,2	13,1	3,4	171	42,1	46,6	107,4	15,1	0,36	0,21	0,43
8	8:50	70	21	13,95	1,74	24,1	20,8	23,2	16,4	6,3	483	67,3	143,5	283	15,1	0,11	0,03	0,59
9	9:00	80	21	14,31	1,8	24,8	21,2	22,4	15,9	6,2	590,7	86,6	130	258,1	15,1	0,15	0,01	0,61
10	9:10	90	21,5	14,1	1,75	24,8	19,9	24,2	17,1	6,4	711	65,9	115	247,7	15,4	0,43	0,04	0,58
11	9:20	100	22	11,13	1,27	14,7	21,7	23,3	17,7	6,4	731,8	150	115,8	171,6	15,8	0,22	0,02	0,61
12	9:30	110	22	14,34	1,81	25,7	16,1	23,5	19,9	6,4	588,1	117,7	119,1	268,7	16	0,76	0,09	0,54
13	9:40	120	22,5	14,27	1,8	25,5	22,3	24,4	20,2	6,6	717,2	91,1	140,3	261,5	16,1	1,13	0,02	0,60
14	9:50	130	23	14,35	1,83	26,1	17,7	23,3	20,2	6,6	759,3	125,4	142,3	278,5	16,7	0,84	0,05	0,57
15	10:00	140	23,5	14,39	1,82	26,3	17,7	24	23,8	6,7	778,8	139,1	161,5	266,1	17,4	1,09	0,06	0,57
16	10:10	150	24	14,46	1,83	26,4	18,6	23,5	23,3	6,7	835,8	157	160,6	254,2	18,1	1,77	0,04	0,58
17	10:20	160	24,5	14,47	1,83	26,4	20,4	25,1	24,5	6,8	836,2	62,4	143,2	295,5	18,2	0,7	0,04	0,58
18	10:30	170	25	14,45	1,85	26,6	21	25,1	24,7	6,8	827,2	70,7	156,3	261,6	18,3	0,75	0,03	0,59
19	10:40	180	26	14,42	1,86	26,7	20,6	25,6	26,5	6,8	892,1	78,1	159,1	279,6	18,4	1,28	0,04	0,58
20	10:50	190	26	14,37	1,81	25,8	25,8	26,6	28	6,4	938,1	89	147,9	241,7	18,8	0,33	0,01	0,61
21	11:00	200	27	14,37	1,79	25,6	25,9	27,4	29,8	6,6	975,8	62,7	180,1	270,5	19,7	0,57	0,01	0,61
22	11:10	210	27,5	14,53	1,83	26,8	26,9	28	27,8	6,6	935,6	63,5	174	232,5	19,8	1,86	0,01	0,61
23	11:20	220	28	14,47	1,8	26,4	27,5	28,4	30,3	6,7	1011	72,1	186,1	261,5	20,1	1,16	0,01	0,61

24	11:30	230	28,5	14,29	1,79	25,4	28,2	29,9	32,3	6,8	982,2	66,1	186,6	240,4	20,4	0,12	0,01	0,61
25	11:40	240	29,5	14,41	1,81	26,3	23,6	29,4	32,2	6,8	989,9	72,1	191,6	237,7	20,9	0,4	0,04	0,58
26	11:50	250	30	14,4	1,8	25,9	26,8	30,8	34,2	6,8	984,2	77,5	183	245,3	21	0,98	0,03	0,59
27	12:00	260	30	14,3	1,83	26	29,6	31,1	32,2	6,8	1012	73,4	191,3	227,7	21,3	2,04	0,01	0,61
28	12:10	270	30,5	14,34	1,8	25,6	29	32,2	35,4	6,6	974,9	74,7	196,6	219,2	21,6	1,05	0,02	0,60
29	12:20	280	31	14,37	1,84	26,2	29,8	32,2	30,5	6,8	1227	234,7	214,7	380,2	21,9	0,16	0,01	0,61
30	12:30	290	31,5	14,43	1,81	26,1	29,3	34,2	37,1	6,7	998,8	176,5	223,6	354,7	22,1	0,66	0,03	0,59
32	12:50	300	33	14,51	1,81	26,2	30,8	33,3	39,9	6,8	1019	88,68	217,6	206,4	23,1	2,02	0,02	0,60
33	13:00	310	33,5	14,34	1,8	25,6	32	33,6	35,4	6,8	1017	98,2	156	189,1	23,4	1,11	0,01	0,61
34	13:10	320	33,5	14,36	1,84	25	34	35	35,5	6,8	1010	122,5	200	242	24,1	0,5	0,01	0,61
35	13:20	330	33,8	14,22	1,76	24,7	34	35,5	35,5	6,8	1005	127,9	203,4	246,3	24,9	1,02	0,01	0,61
36	13:30	340	35	14,8	1,9	27,7	31,6	34,2	35,2	6,8	359,3	122,2	93,6	95,2	25,1	0,76	0,05	0,57
37	13:40	350	37,5	14,84	1,83	26,5	29,1	34,4	33,6	6,8	1112	508,2	272,5	207,1	25,6	0,73	0,03	0,59
38	13:50	360	37	9,83	1,6	9,3	30,7	32,2	32,6	6,6	800,6	166,6	193	170,5	25,4	0,15	0,01	0,61
39	14:00	370	38,5	14,25	1,79	23,1	33,4	33,4	42	6,7	1159	161,8	266,6	440,9	25,9	1,61	0,00	0,62
40	14:10	380	37	6,45	0,6	3.7	20,8	33,8	33,2	3,2	206	81,1	38,9	86,1	25,1	0,08	0,44	0,22
42	14:20	390	37	11,5	1,32	15,2	27,3	33,3	30,3	4,2	309,2	123,4	89,5	71,6	24,1	1,2	0,14	0,50
43	14:30	400	37	10,08	1,08	12,9	33,2	33,3	30,2	5,2	356,4	96,2	117,2	94,7	23,9	1,68	0,00	0,62
		PROMEDIO	**27,60**	**13,71**	**1,72**	**24,25**	**23,86**	**27,37**	**26,29**	**6,01**	**743,64**	**109,81**	**149,57**	**229,20**	**19,51**	**0,79**	**0,05**	**0,59**

FECHA: Viernes 07/02/2014 **ENSAYO :6**

ORDEN	HORA	TIEMPO	ACUMULADOR DE AGUA CALIENTE				COLECTOR SOLAR PARABÓLICO				IRRADIANCIA				Ta	Vaire	((T2-T1)*U)/Ig	η
			Tw	V	A	P	T1	T2	Tp	Q	Ih	Id	Ia	Icolector				
	(hr)	(min)	(°C)	(V)	(A)	(W)	(°C)	(°C)	(°C)	(lpm)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(°C)	(m/s)		
1	7:40	0	25	0,58	5,08	2,4	18	24,4	14,8	2,4	164,5	68	71,4	86,4	14,6	0,97	0,27	0,35
2	7:50	10	24	5,18	0,55	2,55	17,8	21,9	14,4	2,2	149,1	64,1	38,8	77,6	14	0,41	0,19	0,43
3	8:00	20	24	10,31	1,22	12,2	20,7	21,5	14	4,6	316,2	85,9	96,2	198,8	13,3	0,4	0,02	0,60
4	8:10	30	24	11,9	1,38	16,4	21	25,5	14,5	5	402,3	99	107,3	224,5	13,5	0,73	0,08	0,54
5	8:20	40	24	12,4	1,45	18,4	19,9	26,8	16,6	5,6	434,1	84,9	120,2	278,6	13,8	0,6	0,11	0,51
6	8:30	50	24	13,1	1,54	20	21,3	25,3	16,6	5,8	482,2	87,8	123	271,5	14,6	0,49	0,06	0,56
7	8:40	60	24,5	13,68	1,66	22,8	21,8	26,7	16,1	6	505,9	93,6	144,4	273,4	15,1	1,18	0,07	0,55
8	8:50	70	24,5	13,92	1,7	23,8	21,7	27	18,4	6,2	576,2	82,2	157,9	285,3	15,2	0,95	0,06	0,56
9	9:00	80	25	14,34	1,78	25,3	22	23,1	17,1	6,3	551,2	91,8	157,9	358,4	15,6	1,56	0,01	0,61
10	9:10	90	25	14,4	1,78	25,3	24,1	25,3	19,1	6,5	605,1	87,2	156,2	280,9	16	0,79	0,01	0,61
11	9:20	100	25,5	14,42	1,8	26	24,7	26,3	19,3	6,6	661,2	87,5	159	295,2	16,2	0,68	0,02	0,60
12	9:30	110	26	14,4	1,79	25,9	23,8	25,2	20,2	6,6	723,3	77	163,2	354,5	16,6	1,03	0,01	0,61
13	9:40	120	26,5	15,5	1,73	26,2	24,4	25,5	20,4	6,8	754,4	84,4	167,5	381,6	16,8	1,85	0,01	0,61
14	9:50	130	27	14,64	1,84	27	25	27,1	23,2	6,6	776,6	83,5	175,2	261,4	17,1	0,15	0,02	0,60
15	10:00	140	27,5	14,49	1,81	26,5	21,5	24,3	20,9	6,7	786,6	88,5	175,5	293,4	17,5	1,45	0,02	0,59
16	10:10	150	27,5	14,66	1,84	26,8	24,8	27,3	23	6,7	747,2	80,7	178,3	296,2	17,5	1,06	0,02	0,60
17	10:20	160	28	14,34	1,81	25,9	26,8	28,7	26,2	6,8	894,4	87,1	190,3	354	18,1	0,52	0,01	0,60
18	10:30	170	28,5	14,54	1,84	26,8	26,9	28,5	26,2	6,8	8861	85,5	186,7	299,9	18,4	0,29	0,00	0,62
19	10:40	180	29	14,6	1,85	27	29	29,6	27,5	6,8	857,8	88,5	194,9	339,5	18,9	1,52	0,00	0,61
20	10:50	190	29,5	14,63	1,88	27,2	27,2	28,4	28	6,7	882,3	90,5	180,1	362,4	19,8	0,28	0,01	0,61
21	11:00	200	30,5	14,47	1,84	26,4	27,6	31,8	30,2	6,6	941,4	92	187,8	296,2	20,1	2,16	0,03	0,59
22	11:10	210	31	14,39	1,86	26,4	20,2	32,7	30,3	6,6	964,4	83,2	204,3	296	20,5	0,2	0,09	0,53

23	11:20	220	32	14,41	1,8	26	30,7	32,7	34,8	6,8	977,9	91,3	223	287,9	21	0,75	0,01	0,61
24	11:30	230	32	14,44	1,83	26,4	28,8	31,5	38,6	6,6	1014	105,3	158,8	380,2	22	0,83	0,02	0,60
25	11:40	240	32,5	14,4	1,84	26,4	33,1	33,7	35,8	6,6	1047	97,8	146,7	342,5	22	0,39	0,00	0,62
26	11:50	250	33,5	14,4	1,81	26,3	29,3	31,4	33,4	6,6	950	110	163,5	390,6	22,3	0,45	0,02	0,60
27	12:00	260	34	15,17	1,97	29,8	28,2	32,3	35,2	6,4	529,3	96,3	117,5	421,4	22,6	1,3	0,05	0,57
28	12:10	270	34	12,8	1,53	19,4	31,1	32	30,4	6,6	551	100	112,4	257,5	22,8	1,74	0,01	0,61
29	12:20	280	34	13,42	1,65	22,1	32,5	32,8	36	6,8	1186	215	190,2	441,4	22,7	1,85	0,00	0,62
30	12:30	290	35	13,06	1,6	20,1	34	34,2	37	6,3	594,9	214,2	123,6	281,4	23,5	1,16	0,00	0,62
31	12:40	300	35	14,63	1,87	27,6	34	34,3	38,1	6,6	918,2	172	196,6	316,5	24,1	1,1	0,00	0,62
32	12:50	310	35,5	14,49	1,85	26,6	35,3	36,6	39,9	6,8	1130	126,1	206,9	309,2	24	1,92	0,01	0,61
33	13:00	320	36,5	14,3	1,83	26,1	34,5	35,4	41,3	6,7	1052	137,6	190,6	287,2	24,9	1,27	0,01	0,61
34	13:10	330	37	14,38	1,83	26,6	34	38	42	6,6	1028	123,7	192,6	363,8	25,1	0,96	0,03	0,59
35	13:20	340	37,5	14,32	1,84	26,3	36,5	36,6	42,8	6,6	1044	146,1	187,6	375	25,5	1,14	0,00	0,62
36	13:30	350	38	14,25	1,81	25,9	36,8	37,3	44,4	6,6	1044	149,9	197,7	388,6	25,5	2,15	0,00	0,62
37	13:40	360	39	14,25	1,8	25,8	31,3	35,7	39,3	6,6	1001	179,9	267,8	414,4	26,5	0,55	0,03	0,59
38	13:50	370	39	9,28	0,98	8,5	30,1	34,7	30,9	4,6	286,4	150,2	88,2	132,3	27,2	3,5	0,11	0,51
39	14:00	380	39,5	8,09	0,8	6,4	30	32,2	26,5	3,8	221,5	141,5	90	115,6	25,1	0,4	0,07	0,55
40	14:20	400	39,5	10,5	1,15	12,4	29	32,2	29,9	5	317,8	124,3	98,6	151,3	24,4	0,91	0,07	0,55
41	14:30	410	40	12,2	1,34	16,3	26,6	31,5	28,6	6,8	331,2	120	87,2	146,7	25,3	1,25	0,10	0,52
42	14:40	420	40	14,68	1,88	27,3	30,5	30,7	32,2	6,6	1039	173,6	186,5	446,1	26,5	2,44	0,00	0,62
PROMEDIO			**31,05**	**13,15**	**1,74**	**22,37**	**27,30**	**29,97**	**27,95**	**6,12**	**911,92**	**110,66**	**156,24**	**295,60**	**20,15**	**1,08**	**0,04**	**0,58**

FECHA: Martes 11/02/2014 **ENSAYO: 7**

ORDEN	HORA	TIEMPO	ACUMULADOR DE AGUA CALIENTE				COLECTOR SOLAR PARABÓLICO				IRRADIANCIA				Ta	Vaire	((T2-T1)*U)/Ig	η
			Tw	V	A	P	T1	T2	Tp	Q	Ih	Id	Ia	Icolector				
	(hr)	(min)	(°C)	(V)	(A)	(W)	(°C)	(°C)	(°C)	(lpm)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(°C)	(m/s)		
1	7:30	0	26				19,3	20,2	15,5	1,1	146,4	70,5	35,3	73,9	15,5	0,95	0,04	0,58
2	7:40	10	26				20,1	20	15,3	0	176,5	82,8	36,6	58,8	16	0,41	0,00	0,62
3	7:50	20	26	7,6	0,74	6	18,8	21,1	15,2	3,2	127,1	64,7	77,9	199,7	15,8	0,16	0,13	0,49
4	8:00	30	25,5	3,6	0,2	1,2	19,9	22,2	17	1,2	112,9	47,9	29,9	69,5	15,9	0,4	0,14	0,48
5	8:10	40	25	12,29	1,5	8,5	23,5	24,4	17,2	2,2	144,8	63,1	43,6	114,7	15,7	0,37	0,04	0,58
6	8:20	50	25	13,24	1,56	20,8	22,2	23,8	18,1	5,6	486,1	82,9	124,1	312,6	16,5	0,92	0,02	0,60
7	8:30	60	25,5	14,42	1,58	21	21,6	25	17,4	5,8	540,2	77,1	131	264	16,5	0,45	0,04	0,58
8	8:40	70	26	13,76	1,62	22,2	24,8	28,7	20,5	5,8	462,6	77	148,9	265,8	16,8	0,33	0,06	0,56
9	8:50	80	26	13,76	1,62	22,3	25	25,8	18,6	6	532,6	70,3	141,7	283,7	17,5	0,13	0,01	0,61
10	9:00	90	26	14,45	1,78	25,6	24,1	24,5	18,9	6,2	639,4	78,6	139,8	314,5	17,4	2,49	0,00	0,62
11	9:10	100	26,5	14,4	1,78	25,6	25,6	26,8	20,8	6,4	704,1	75,3	153,9	331,8	17,9	0,42	0,01	0,61
12	9:20	110	27	14,56	1,81	26,2	26,1	28,4	22,4	6,2	660,2	73,2	77,5	313,1	18,3	0,26	0,02	0,60
13	9:30	120	27,5	14,24	1,72	24,8	26,3	29	23,6	6,3	726,6	80,7	166,4	286,2	19,1	1,11	0,03	0,59
14	9:40	130	28	14,26	1,76	25	26	27,4	24,5	6,4	670,2	79,6	146,2	301	20	0,35	0,01	0,61
15	9:50	140	28	13,42	1,61	21	26,3	28,3	25,4	6,4	681,9	98,2	131,3	269,8	20,7	0,77	0,02	0,60
16	10:00	150	29	14,3	1,81	26	26,6	27,2	26,3	6,2	499,2	129,3	132,1	333,2	21,1	0,35	0,01	0,61
17	10:10	160	29	13,85	1,71	23,3	27,1	28	25,6	6,2	615,7	159	120,5	226,7	21,5	0,77	0,01	0,61
18	10:20	170	29,5	11,4	1,28	14,6	27,4	28,3	27,2	5,6	337,9	167,4	111,4	185,7	21,8	2	0,02	0,60
19	10:30	180	30	14,22	1,82	25,8	30,2	30,3	29,8	6,5	845	245,1	225,2	263,5	22,4	1	0,00	0,62
20	10:40	190	30	11,8	1,4	16,8	29,7	30,2	30,2	5,4	373,9	250,2	108,1	192,7	22,9	1,88	0,01	0,61
21	10:50	200	30	14,5	1,82	26,3	30,8	31,1	30,8	6,4	689,4	256,4	153,2	209,3	23,1	0,66	0,00	0,62
22	11:00	210	31	14,77	1,88	27,8	31,4	32	32	6,4	1068	269,9	283,5	406,7	24,1	1,27	0,00	0,62

23	11:10	220	32	14,79	1,9	28	30	30	32,9	6,6	1013	200	258,4	317,9	25,2	3,5	0,00	0,62
24	11:20	230	32	14,8	1,91	28,3	31,8	32,2	32,2	6,6	921,7	503,6	211,6	311,7	25,2	3,6	0,00	0,62
25	11:30	240	32,5	14,72	1,88	27,8	31,3	31,3	32,7	6,8	968,7	136,7	182	309	25,5	4,8	0,00	0,62
26	11:40	250	33	14,68	1,9	27,8	31,9	32,2	34,7	6,8	971,2	168,4	189,3	299,2	25,8	2,28	0,00	0,62
27	11:50	260	34	14,88	1,93	27,9	32,4	32,6	34,5	6,8	1054	224	213,7	336,8	26,1	1,18	0,00	0,62
28	12:00	270	34	13,12	1,62	21	29,5	31,3	33,3	6,8	1083	184,3	117	193,9	26,6	4,77	0,01	0,61
29	12:10	280	35	14,95	1,98	29,8	32,6	32,6	34,5	6,8	1088	181,3	236,8	295,3	26,8	6,6	0,00	0,62
30	12:20	290	35,5	15,22	2,02	30,01	30,9	31,5	34,1	6,4	1135	203	169,2	175,4	27,4	1,34	0,00	0,62
31	12:30	300	36	14,94	1,98	29,2	33,1	33,2	37,7	6,7	1147	218,3	235,7	280,9	27,4	4,1	0,00	0,62
32	12:40	310	36	11,02	1,27	14,2	33,1	34	35,1	6,2	447,5	204,3	92,7	262,2	26,9	3,3	0,01	0,61
33	12:50	320	36,5	14,81	1,91	28,1	34	35,2	39,4	6,6	1177	256	186,6	446,2	27,9	2,95	0,01	0,61
34	13:00	330	37	15,1	1,98	29,6	33,1	34,5	37	6,8	612,9	147,2	213,9	160,4	28	3,43	0,02	0,60
35	13:10	340	37	15,07	1,98	29,6	32,7	35	37,5	6,7	1205	232,5	246,9	417,1	27,1	2,4	0,01	0,61
36	13:20	350	38	14,94	1,97	29,4	37,2	37,2	38,7	6,9	1156	182,9	245	496,3	28	3,76	0,00	0,62
37	13:30	360	38	8,01	0,8	6,2	35	35,3	32,1	4,4	334,5	243,7	69,4	125,1	28,4	3,52	0,01	0,61
38	13:40	370	38	5,4	0,52	2,7	31,2	33,2	27,1	2,8	197,8	181,7	43,5	86,4	26,5	2,32	0,07	0,55
39	13:50	380	38	4,42	0,43	1,8	29,9	31,1	1	2,2	147,9	116,4	53,3	79	25,4	1,69	0,06	0,56
40	14:00	390	38	3,37	0	0	30,1	32,4	25,8	1,2	116,3	70,5	46,1	73,3	24,5	2,12	0,14	0,48
41	14:10	400	38				27,7	30,1	25,7	1	94,2	70,5	36,6	64,3	24,2	1,99	0,18	0,44
42	14:20	410	38				27	29,9	25,4	1	78,6	72,3	28,2	70,5	23,8	1,69	0,26	0,36
43	14:30	420	38,5				30,4	33,4	24,4	1,1	103,5	78,6	35,7	76,6	23,6	1,81	0,20	0,42
44	**14:40**	**430**	**39**				**30,8**	**31,9**	**25,4**	**1,4**	**126,1**	**105,7**	**45,2**	**64,3**	**23,4**	**2,05**	**0,06**	**0,56**
PROMEDIO			**31,74**	**12,71**	**1,55**	**21,11**	**28,38**	**29,61**	**26,67**	**5,00**	**600,45**	**149,57**	**133,52**	**232,24**	**22,50**	**1,88**	**0,04**	**0,58**

FECHA: 12/02/2014

ENSAYO :8

ORDEN	HORA	TIEMPO	ACUMULADOR DE AGUA CALIENTE				COLECTOR SOLAR PARABÓLICO				IRRADIANCIA				Ta	Vaire	((T2-T1)*U)/Ig	η
			Tw	V	A	P	T1	T2	Tp	Q	Ih	Id	Ia	Icolector				
	(hr)	(min)	(°C)	(V)	(A)	(W)	(°C)	(°C)	(°C)	(lpm)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(°C)	(m/s)		
1	7:40	10	25,5				14,5	21,3	14,1	0	106,6	41	27,4	60,1	14,5	0,38	0,45	0,17
2	7:50	20	25,5	9,16	1,02	9,2	21,1	22,7	16	4	208,5	74,7	66,1	181,8	15,1	0,61	0,05	0,57
3	8:00	30	24,5	10	1,14	11,3	21,3	23,4	16,7	4,4	341,8	62,6	84	190,1	15	0,21	0,04	0,58
4	8:10	40	24,5	6,26	0,6	3,6	21,9	24,1	17,4	3,2	174,5	75,2	40,1	109,2	14,9	0,22	0,09	0,53
5	8:20	50	25	7,18	0,75	5,3	22,1	25,6	18,8	4,6	174,2	47,5	65,1	147,9	15,4	0,49	0,14	0,48
6	8:30	60	25	12,43	1,53	18,9	21,4	25,2	18,2	5,5	421,4	62,8	121,7	218,6	15,5	0,18	0,06	0,56
7	8:40	70	25	13,38	1,63	21,3	19,3	22,6	17,6	6	463,7	64,5	126,6	289,8	15,8	0,09	0,05	0,57
8	8:50	80	25,5	13,78	1,7	23,3	23,3	25,3	17,5	6,2	551,3	64,5	139,2	260,3	16,2	0,36	0,03	0,59
9	9:00	90	26	13,93	1,73	24,2	24,2	26,7	19,4	6,2	559,9	62,7	137,9	269,7	16,8	1,14	0,03	0,59
10	9:10	100	26	14,31	1,8	25,7	21,4	27	21,1	6,4	606,5	67,7	166,5	323	17,2	0,51	0,06	0,56
11	9:20	110	26	14,61	1,83	26,7	25	27,5	22,3	6,1	394,2	52	132,4	253,6	17,6	0,85	0,04	0,58
12	9:30	120	26,5	14,38	1,81	26,1	23,5	28,2	22,3	6,6	664,1	64	174	289,1	17,8	0,51	0,05	0,57
13	9:40	130	27,5	14,34	1,88	25,9	24,6	28,4	23,3	6,6	676,2	52,3	148,2	287,5	18,6	0,76	0,04	0,58
14	9:50	140	28	14,28	1,82	26	25,6	28,4	24,6	6,6	735	64,1	176,6	289,5	19,4	1,12	0,03	0,59
15	10:00	150	28	14,46	1,82	26,2	23,9	28,3	26,3	6,6	791,2	60	188,8	283	19,7	2,19	0,04	0,58
16	10:10	160	29	14,48	1,83	26,6	25,9	29,3	26,2	6,6	759,3	67,9	179,5	261,4	20,3	1,18	0,03	0,59
17	10:20	170	29,5	14,48	1,84	26,6	27,2	29,2	27,2	6,6	784,2	64,4	189,8	274,3	20,8	0,2	0,02	0,60
18	10:30	180	29,5	14,34	1,81	25,8	27,5	30,2	29,2	6,6	845,3	59,1	195,6	296,8	21,2	1,19	0,02	0,60
19	10:40	190	31	14,38	1,81	25,9	29,3	30,5	27,6	6,8	862,7	62,2	201	255,2	22	1,2	0,01	0,61
20	10:50	200	31	14,42	1,82	26,1	30,4	31	31,4	6,7	886	70	207,9	253,6	22,5	0,81	0,00	0,61
21	11:00	210	32	14,33	1,8	25,7	31,4	32,4	33,3	6,8	910,6	80,4	243,3	266,6	23,2	0,95	0,01	0,61
22	11:10	220	32	14,31	1,78	25,6	33,4	33,5	35,7	6,7	1090	147,2	166,4	315,2	23,3	1,56	0,00	0,62

23	11:20	230	32,5	14,5	1,85	26,9	33,8	34	35,6	6,8	955,7	88,8	210,6	266,3	23,8	1,34	0,00	0,62
24	11:30	240	33,5	14,25	1,81	25,6	34	34,4	37,2	6,7	989,2	106,4	234,2	272,3	25,2	0,77	0,00	0,62
25	11:40	250	34	14,33	1,83	26,2	34,3	34,7	37,6	6,7	1007	100,5	259,8	222,4	25,5	3,69	0,00	0,62
						25,5	35,4	36,4	40	6,4	981,8	120	258,9	275,7	25,5	1,18	0,01	0,61

21	11:00	210	32,5	32	32,6	33,5	6,7	882,3	74,5	196	245,3	22,9	1,08	0,00	0,68
22	11:10	220	33	33,5	33,7	34,7	6,1	922,4	66,9	244	235,3	23,6	0,73	0,00	0,69
23	11:20	230	34	34	34,3	34,7	6,4	1105	146,4	179,9	350,3	24,1	0,73	0,00	0,69
24	11:30	240	34	32,1	33,7	34,2	6,6	1124	180,7	158,8	241	24,9	1,37	0,01	0,68
25	11:40	250	34,5	33,1	33,8	38,2	6,8	1116	153,3	182	298,3	25,4	1,43	0,00	0,68
26	11:50	260	35,5	33,6	35	37,2	6,7	1055	183	156	233,3	25,8	2,43	0,01	0,68
27	12:00	270	36	34,6	35	39	6,8	979,1	84,2	260	221,4	26,1	1,01	0,00	0,69
28	12:10	280	36,5	35,5	36,6	40,2	6,7	1013	93,6	258,3	222,5	26,2	0,9	0,01	0,68
29	12:20	290	37	35,6	35,6	39,2	6,6	1142	113,4	292,1	255,5	25,9	1,16	0,00	0,69
30	12:30	300	37,5	34,5	35,7	39,6	6,7	1125	173,1	262,6	289,5	27,5	0,91	0,01	0,68
31	12:40	310	38	35,4	36,7	42,9	6,7	1171	189,2	134,4	278,2	28,6	1,2	0,01	0,68
32	12:50	320	38	31,3	34,9	31	4	288,2	125,3	84	143	27,5	3,5	0,09	0,60
33	13:00	330	38	30,8	33,9	29,7	3,4	200,3	177	61,7	100,4	26	1,85	0,11	0,58
34	13:10	340	39	35,2	36,2	32,2	4,5	247,9	91,1	86,6	124,3	26,5	3,35	0,03	0,66
35	13:20	350	39	33,7	33,7	31,7	5,4	383,3	81	79,6	93,8	26	1,71	0,00	0,69
36	13:30	360	39	32,8	33,3	29,1	3,2	188,5	103,3	51	100,9	25,6	3,34	0,02	0,67
37	13:40	370	39	32	33,5	27,1	2,1	133,9	76,9	44,9	63	24,9	1,68	0,08	0,61
38	13:50	380	39	30,8	31,8	26,8	1,2	109,3	64,8	47,9	46,9	24,4	1,08	0,06	0,62
39	14:10	400	39	29,8	31	24,2	0	87,9	83,9	34,4	49,8	23,5	1,19	0,10	0,59
40	14:20	410	38	29	30,6	24,5	0	77,3	80	31,7	41,2	24	2,35	0,14	0,54
		PROMEDIO	**32,4625**	**29,45**	**30,87**	**27,72**	**5,40**	**657,65**	**97,72**	**141,21**	**233,58**	**21,76**	**1,36**	**0,03**	**0,66**

FECHA: Viernes 14/02/2014 **ENSAYO :10**

ORDEN	HORA	TIEMPO	ACUMULADOR DE AGUA CALIENTE				COLECTOR SOLAR PARABÓLICO				IRRADIANCIA				Ta	Vaire	((T2-T1)*U)/Ig	η
			Tw	V	A	P	T1	T2	Tp	Q	Ih	Id	Ia	Icolector				
	(hr)	(min)	(°C)	(V)	(A)	(W)	(°C)	(°C)	(°C)	(lpm)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(°C)	(m/s)		
3	7:50	20	24				14,2	19,9	15	0	73,6	62,8	10,8	34,7	14,5	0,24	0,54	0,08
4	8:00	30	24				15,3	20,2	16,1	0	69,2	66,6	11	37	15	0,18	0,50	0,12
5	8:10	40	24	5,8	0,57	3,3	15,5	19,5	16,7	0	143	102,2	14,9	69,5	15,4	0,42	0,20	0,42
6	8:20	50	24	8,1	0,81	6,6	19,8	19,9	16,9	3,2	194,4	111,1	34,7	92,9	16,4	1,01	0,00	0,62
7	8:30	60	23	7,43	0,7	5,3	20,5	21,8	17,5	3,8	274,4	127,6	37,1	126,6	17,4	0,31	0,03	0,59
8	8:40	70	23	6,4	0,6	3,8	21,3	22,1	18,7	3,2	216,2	151,3	23,6	93,4	16,6	0,85	0,03	0,59
9	8:50	80	23	12	1,4	16,6	20,4	20,8	17,1	3,8	222,7	131,6	22,8	150,2	16,4	0,33	0,01	0,61
10	9:00	90	23	12	1,39	16,6	21,3	21,9	17,9	4,2	375,3	120,1	47,6	193,1	16,9	0,25	0,01	0,61
11	9:10	100	23	13,9	1,7	23,3	22,4	22,6	18,3	6	543,9	229,2	96,3	232	17,2	0,17	0,00	0,62
12	9:20	110	23,5	11,25	1,24	14	21,1	22,3	17,3	5,4	286,4	149,7	64,4	145,6	17,6	0,17	0,03	0,59
13	9:30	120	24	13,24	1,5	18,5	21,3	23,4	18,9	6	396,6	118,6	101,9	181,6	17,8	0,12	0,04	0,58
14	9:40	130	24	13,98	1,7	23,8	24,5	24,6	21,6	6,2	561,7	121,7	119,6	248	18	1,61	0,00	0,62
15	9:50	140	24	14,08	1,72	24	25,3	25,5	21,2	6,2	655,3	98,3	108,5	242,6	17,5	0,9	0,00	0,62
16	10:00	150	24,5	14,71	1,83	27	24,1	24,3	21,8	6,6	827,2	98,5	157,3	297,1	17,8	1,08	0,00	0,62
17	10:10	160	25	14,65	1,82	26,6	25	25,3	23,4	6,6	761,4	106,9	214,6	281,6	18,4	0,43	0,00	0,62
18	10:20	170	25,5	14,62	1,82	26	24,9	25,7	23,5	6,7	714,4	87,9	176,2	281,9	18,7	0,24	0,01	0,61
19	10:30	180	26	14,7	1,84	27	24,6	25,1	23,1	6,7	792,3	88,4	156,4	282,5	18,6	0,35	0,00	0,62
20	10:40	190	27	14,63	1,83	26,8	27,4	27,4	25,5	6,5	855,3	87,4	171,1	283,7	19	1,37	0,00	0,62
21	10:50	200	27,5	14,5	1,81	26,1	26,6	27,7	27,3	6,6	874,2	107,1	177,5	263,5	19,2	0,67	0,01	0,61

22	11:00	210	28	14,48	1,79	26	24	26,7	29	6,5	933,4	112,8	205,7	276,7	20	0,31	0,02	0,60
23	11:10	220	28,5	14,47	1,79	25,8	27,7	28,6	29,1	6,5	910,5	129,5	212,8	286,9	20,8	1,7	0,01	0,61
24	11:20	230	29	14,45	1,77	25,5	29,7	30,2	31,1	6,6	953,2	145,3	222,2	248,1	21,4	0,33	0,00	0,62
25	11:30	240	29,5	14,47	1,79	25,9	30	30,3	32,1	6,5	936,7	156,2	227,1	267,5	22,1	0,33	0,00	0,62
26	11:40	250	30	14,42	1,76	25,5	31,3	31,3	33,2	6,6	993,9	154,5	224,6	252,6	22,6	0,94	0,00	0,62
27	11:50	260	31	14,33	1,77	25,5	31,1	31,5	35,6	6,6	995,7	152,7	243	242,7	23,1	0,41	0,00	0,62
28	12:00	270	31,5	14,34	1,78	25,6	30	30,4	35,7	6,6	1030	188,9	136	325,4	23,4	1,51	0,00	0,62
29	12:10	280	32	14,47	1,8	26	31,2	35,6	34,2	6,6	1033	234,5	118,9	329,7	23,5	2,4	0,03	0,59
30	12:20	290	32,5	14,36	1,78	25,3	34	34,7	36,7	6,6	1048	139,9	263,5	252	23,7	0,48	0,00	0,61
31	12:30	300	33	14,56	1,84	26,4	32,8	33,1	37,5	6,6	1032	120,3	189,2	226,5	24,1	0,33	0,00	0,62
32	12:40	310	34	14,46	1,8	26	33,4	34	37	6,6	1069	140	193,4	251,8	24,5	0,88	0,00	0,62
33	12:50	320	34	14,3	1,8	26	33,2	34	37,2	6,6	1001	135	190,2	252	24,5	0,5	0,01	0,61
34	13:00	330	36	14,53	1,8	26,1	32,2	34,9	36,6	6,6	1055	110,6	194,3	242,2	24,6	0,71	0,02	0,60
35	13:10	340	36	1,5	12,8	18,9	30,5	34,8	37,2	6,4	1178	126	214,9	171,4	24,6	1,24	0,03	0,59
36	13:20	350	36	14,4	1,78	25,6	31,7	34	37,8	6,6	1194	104,4	187,8	302,3	25,1	1,1	0,01	0,61
37	13:30	360	36,5	14,37	1,77	25,1	33	34,2	35,9	6,8	976,4	213,9	181,8	286,1	25,6	1,3	0,01	0,61
38	13:40	370	37	14,27	1,79	25,6	35,5	36,5	41,8	6,6	1013	227,1	179,9	368	25,8	1,67	0,01	0,61
39	13:50	380	38	14,54	1,81	26,4	35,6	36,8	43,6	6,6	1041	276,5	182,5	385,7	26,3	2,45	0,01	0,61
40	14:00	390	38	9,85	1,01	9,9	35,2	36	46,5	5	276,2	204,2	61,2	437,3	27,5	0,83	0,02	0,60
41	14:10	400	38	7,79	0,76	5,5	35,1	35	34,8	4,4	240,1	175,5	48,4	107,7	26,7	1,11	0,00	0,62
42	14:20	410	38	5,21	0,48	2,5	32,7	33,1	27,4	2,5	153,8	137,5	33,7	72,1	25,7	2,27	0,02	0,60
43	14:30	420	38	5,24	0,48	2,5	33,4	34,1	27,2	2,3	155,2	152,7	35,5	71,6	24,4	1,21	0,03	0,59
44	14:40	430	38	5,76	0,53	3	33,8	33,9	26,9	2,3	178,6	149	35,5	70,8	23,8	1,76	0,00	0,62
45	14:50	440	38	6,64	0,62	4,2	33,4	33,5	27,1	3	192,7	131,6	64,6	84,1	24	0,31	0,00	0,62
PROMEDIO			**29,83**	**12,03**	**1,74**	**19,51**	**27,58**	**28,77**	**28,12**	**5,25**	**661,11**	**139,20**	**130,07**	**217,41**	**21,07**	**0,86**	**0,04**	**0,58**

FECHA: Lunes 17/02/2014 **ENSAYO: 11**

ORDEN	HORA	TIEMPO	ACUMULADOR DE AGUA CALIENTE				COLECTOR SOLAR PARABÓLICO				IRRADIANCIA				Ta	Vaire	((T2-T1)*U)/Ig	η
			Tw	V	A	P	T1	T2	Tp	Q	Ih	Id	Ia	Icolector				
	(hr)	(min)	(°C)	(V)	(A)	(W)	(°C)	(°C)	(°C)	(lpm)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(°C)	(m/s)		
1	7:40	0	21	10	1,08	10,8	20	20,9	13,8	4,2	282,6	87,5	54,6	197,5	14,5	0,86	0,02	0,60
2	7:50	10	21,5	8,57	0,85	7,4	18,4	21,1	13,5	3,8	330,7	87,6	57,1	205,3	14,4	0,58	0,06	0,56
3	8:00	20	21,5	9,42	0,99	9,5	19,8	21,3	14,7	4	264,6	88,2	48,8	166,6	14,3	0,39	0,04	0,58
4	8:10	30	21,5	10,06	1,09	11	19,8	21,3	15	4,6	287,7	85,9	45,6	166,7	14,2	0,52	0,04	0,58
5	8:20	40	22	13,44	1,6	21,3	21,4	24,8	18	6	585,6	109	58,7	315,7	14,7	0,71	0,04	0,58
6	8:30	50	22	12,82	1,41	18	21	22,5	16,6	6,1	491,5	105,7	46,9	271,7	15,3	0,77	0,02	0,60
7	8:40	60	22	12,78	1,48	18,8	20,9	23,1	17,4	5,8	521,7	98,1	72	252,7	15,5	0,46	0,03	0,59
8	8:50	70	22,5	13,85	1,66	22,8	21,6	22,6	17,2	6	606,4	112,1	71,4	298,5	15,8	1,42	0,01	0,61
9	9:00	80	23	14,17	1,72	24,2	22,6	23,2	18,2	6,2	678,3	116,4	65,7	242,2	16	0,36	0,01	0,61
10	9:10	90	23	14,11	1,71	24,1	22,3	24,5	18,7	6,2	666,6	118,6	87,8	340,2	16,6	1,45	0,02	0,60
11	9:20	100	23,5	14,22	1,73	24,7	23,4	24,1	19,7	6,4	734,4	134,7	95,7	336,8	16,8	0,72	0,01	0,61
12	9:30	110	24	14,49	1,78	25,7	23,1	23,7	19,5	6,6	733	132,6	91,4	322,7	17,3	0,46	0,01	0,61
13	9:40	120	24,5	14,65	1,82	26,4	24	24,8	22,8	6,6	831,4	148,2	97,8	397,3	17,8	1,06	0,01	0,61
14	9:50	130	25	14,62	1,81	26,2	25	25,7	23,7	6,7	848,4	150,5	111,3	395,7	18,2	1,71	0,01	0,61
15	10:00	140	25,5	14,61	1,81	26	24,8	25,4	25	6,7	854	150,5	135	361,3	18,4	0,38	0,00	0,61
16	10:10	150	26	14,45	1,79	25,7	24,5	25,1	23,3	6,6	901	156,8	136,6	357	18,7	1,15	0,00	0,61
17	10:20	160	26	14,65	1,82	26,5	22,2	23,7	21,3	6,5	697,9	145,3	108	178,8	19,4	1,67	0,02	0,60
18	10:30	170	26,5	14,68	1,83	26,6	26,5	26,5	25,4	6,6	651,9	157,3	97	226,1	19,4	0,53	0,00	0,62
19	10:40	180	27	14,85	1,86	27,6	26,9	27,1	26,2	6,8	805,3	162,7	114,1	268,4	19,5	0,46	0,00	0,62
20	10:50	190	28	14,65	1,83	26,7	27,4	29	28,2	6,9	949,5	212,6	145,6	383,4	20,2	0,41	0,01	0,61

21	11:00	200	28,5	14,78	1,85	27,4	28,5	28,8	28,8	7	1066	249,5	174,4	413,3	21,3	2,42	0,00	0,62
22	11:10	210	29	15,26	1,95	29,7	23,5	25,3	25,3	7	371,6	194,7	140,1	145,8	20,4	2,25	0,03	0,59
23	11:20	220	29	15,2	1,96	29,6	30,4	30,5	29,8	7	1088	280,6	167,4	406,9	20,7	1,83	0,00	0,62
24	11:30	230	29,5	11,45	1,27	14,3	29,1	29,7	30,2	6,3	1003	312,7	156	171,6	21,6	1	0,00	0,62
25	11:40	240	30	8,45	0,85	7	28	28,4	26,3	4,4	224,1	169,5	47,1	132,1	21,1	0,58	0,01	0,61
26	11:50	250	29,5	8,21	0,8	6,5	27,8	28	24,4	4,2	191,5	194,7	48,6	128,2	20,9	0,85	0,01	0,61
27	12:00	260	29,5	9,84	1,02	10,1	27,8	28,2	25,6	4,2	236	234,2	49	144,7	20,8	0,67	0,01	0,61
28	12:10	270	29,5	12,24	1,38	16,8	27,5	27,9	29	6,8	1095	376,9	187,1	242,3	21,1	0,86	0,00	0,62
29	12:20	280	30	15,4	1,98	30,2	29	29,5	29,1	6,4	374,5	225,3	73,3	258,4	21,6	0,33	0,01	0,61
30	12:30	290	30	15,27	1,93	29,7	28,9	29,6	32,2	6,8	412	225,6	66,6	234,5	21,9	0,52	0,01	0,61
31	12:40	300	31	11,54	1,27	14,4	30,4	30,5	31,1	6,2	327,6	224,7	69,2	161,7	22,5	1,2	0,00	0,62
32	12:50	310	31	9,32	0,93	8,6	27,8	28,8	27	5,2	257,7	199,9	51,8	150,5	22,2	2,81	0,03	0,59
33	13:00	320	31,5	7,38	0,69	5	29,8	30	26	4,1	224,6	207,1	49	96	21,6	0,45	0,01	0,61
34	13:10	330	31,5	8,54	0,82	7,1	28,3	28,9	25,4	3,8	198,3	171	49	107,4	21,1	0,96	0,02	0,60
35	13:20	340	31,5	9,1	0,9	8,1	28,6	28,9	26,2	4,5	317,1	255,1	64	114,4	21,2	1,03	0,01	0,61
36	13:30	350	31,5	9,63	0,98	9,6	28,8	28,9	26,4	4,7	313,3	217,5	60,5	124,5	21,5	0,84	0,00	0,62
37	13:40	360	31,5	13,1	1,54	20,1	30	30	29	6,8	391,1	208,4	64,1	207,1	21,6	1,19	0,00	0,62
38	13:50	370	31,5	13,54	1,6	21,3	31,3	32	38,2	6,8	1211	300,4	200,4	437,9	23,2	0,68	0,00	0,62
39	14:00	380	32	13,62	1,63	21,6	29,1	29,3	31,2	6,7	341,7	182,2	61	236,2	23,2	1,1	0,00	0,62
40	14:10	390	32	15,55	1,98	30,1	29,9	30,3	28,6	5,2	295,3	178,6	53,8	154,4	22,4	1,94	0,01	0,61
41	14:20	400	32	15,2	1,91	29	30,1	30,5	31,2	6,8	1141	475,2	189,5	427,4	22,3	2,18	0,00	0,62
42	14:30	410	32,5	9,28	0,92	8,5	30,1	30,5	31,1	4,7	257,2	144,6	49,3	122	22,9	1,82	0,01	0,61
PROMEDIO			**27,38**	**12,55**	**1,47**	**19,40**	**25,96**	**26,78**	**24,53**	**5,83**	**572,86**	**185,45**	**90,77**	**245,28**	**19,38**	**1,04**	**0,01**	**0,61**

FECHA: Martes 18/02/2014 **ENSAYO :12**

ORDEN	HORA	TIEMPO	ACUMULADOR DE AGUA CALIENTE				COLECTOR SOLAR PARABÓLICO				IRRADIANCIA				Ta	Vaire	((T2-T1)*U)/Ig	η
			Tw	V	A	P	T1	T2	Tp	Q	Ih	Id	Ia	Icolector				
	(hr)	(min)	(°C)	(V)	(A)	(W)	(°C)	(°C)	(°C)	(lpm)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(°C)	(m/s)		
1	8:20	0	21	12,88	1,49	19	20	23,2	14,7	6,2	449,1	52,8	82,7	275,3	14,5	1,01	0,01	0,64
2	8:30	10	22	13,2	1,5	20,7	19,6	23,1	14	6,4	513,7	50,5	84,9	237	14,3	0,37	0,01	0,64
3	8:40	20	21,5	14,5	1,6	21,6	20,2	22,2	13,5	6	504,9	44,1	118,4	278,9	14,2	0,18	0,00	0,66
4	8:50	30	22	13,8	1,68	22,7	19,5	23,2	14,6	6,2	471,3	44,8	122,7	262,2	14,2	0,11	0,01	0,63
5	9:00	40	22	14,05	1,72	24	21,2	24,8	16,7	6,1	584	41,7	88,8	257,9	14,8	0,79	0,01	0,65
6	9:10	50	22	14,06	1,75	24,3	22,5	22,8	16,8	6,2	525,7	47,8	95,3	291	14,9	0,81	0,00	0,68
7	9:20	60	22,5	14,12	1,8	25,3	22	25,1	16,8	6,3	569,8	50	154,7	230	15,5	0,64	0,01	0,65
8	9:30	70	23	14,28	1,84	26,1	22,5	23,7	19	6,4	618	49,2	101,5	249,5	16	0,99	0,00	0,67
9	9:40	80	24	14,42	1,83	26,6	23,6	25,2	21,6	6,2	689,5	52,1	117,2	263	16,6	0,49	0,00	0,67
10	9:50	90	24	14,28	1,85	26,2	24	25,2	22,1	6,4	709	49,7	170	306,9	16,7	0,47	0,00	0,68
11	10:00	100	24	14,4	1,86	26,9	24,7	25,6	23,3	6,4	759,2	55,5	129,7	274,5	17,1	0,86	0,00	0,68
12	10:10	110	24,5	14,35	1,84	26,5	24,7	25,2	24,4	6,4	789,1	57,2	179,5	297	17,7	0,38	0,00	0,68
13	10:20	120	25	14,36	1,86	26,6	24,8	26,6	25,1	6,4	790,3	52,4	177	277,5	17,8	0,54	0,00	0,67
14	10:30	130	26	14,36	1,73	26,2	26,2	27,2	26,6	6,4	821,6	64,8	164,8	278,8	18,5	0,74	0,00	0,68
15	10:40	140	26	14,5	1,89	27,2	25,9	26	26,6	6,4	803,1	81	190,5	327,7	18,9	0,49	0,00	0,69
16	10:50	150	27	14,6	1,9	27,5	28,3	28,3	27,9	6,4	1009	128,4	257,3	286,1	20	1,08	0,00	0,69
17	11:00	160	27,5	14,41	1,9	27,5	27,5	28,5	29,3	6,4	578,4	126,9	177,7	222,2	20,5	0,44	0,00	0,68
18	11:10	170	28	15,08	2,03	30,5	28,8	28,8	29,8	6,6	519,3	157,2	202,5	351,1	21,2	0,45	0,00	0,69

19	11:20	180	29	15,02	2,04	30,6	29,2	29,5	29,8	6,6	900	222,5	222,5	325,9	21	0,15	0,00	0,69
20	11:30	190	29	14,81	2,02	29,7	29,9	29,9	30	6,5	1100	133	207,3	313,4	20,8	1,65	0,00	0,69
21	11:40	200	29	13,9	1,84	26,1	28,7	29,4	29,1	6,6	307,1	103,5	84,3	165,4	20,9	0,27	0,00	0,67
22	11:50	210	29,5	12,68	1,6	20	29,8	29,8	32,3	6,6	656,5	130	151,5	228,7	21,1	0,26	0,00	0,69
23	12:00	220	30	12,2	1,49	18	30	30,1	30,5	6,1	430	168,5	110,8	200,4	21,3	0,43	0,00	0,69
24	12:10	230	30,5	12,53	1,57	19,7	31,3	32	32,3	6,6	692,9	191,4	150,5	326,7	21,8	1,25	0,00	0,68
25	12:20	240	31	15,5	2,02	30,8	31,1	31,3	32,1	6,5	636,5	144,9	175,5	481,5	22,3	0,25	0,00	0,69
26	12:30	250	31,5	14,94	2	29,9	29,7	30,6	33	6,8	669,1	201,5	221,7	336	23,6	3	0,00	0,68
27	12:40	260	32	15,28	2	31,7	30	31	34,1	6,8	855,9	172	166,2	359	23,6	4,38	0,00	0,68
28	12:50	270	32	9,24	1,07	9,8	29,6	31,1	30	4,8	447,9	144,2	120,5	145,7	23,8	1,2	0,00	0,67
29	13:00	280	33	15,3	2	30,5	29,1	32	35,8	6,8	957,1	222,3	203,1	364,7	23,6	1	0,00	0,67
30	13:10	290	33	14,94	2	30,2	29	32	34	6,6	1331	253,1	175,8	368,4	24,1	0,44	0,00	0,67
31	13:20	300	34	14,75	1,99	29	29,7	32,1	34,5	6,8	1183	127,1	201,4	313,7	24,3	1,09	0,00	0,67
32	13:30	310	34	15	2	30	30	31,6	33,4	6,8	368,9	91	93	129,2	23,8	1,28	0,00	0,66
33	13:40	320	34,5	9,43	1,06	10	31,4	32,7	35,2	4,6	224,3	142,7	87,1	115,7	23,8	1,09	0,01	0,65
34	13:50	330	34,5	12,9	1,6	20	31,8	32,4	36,3	6,4	436,6	200,1	82,2	225,1	23,3	2,45	0,00	0,68
35	14:00	340	35	14,67	1,93	28,3	32,1	33,3	38,3	6,7	1191	279	216,6	477,3	24,5	2,69	0,00	0,68
36	14:10	350	35	9,03	0,98	9	31,7	32,9	34,4	4,1	296	118,1	57,8	109,5	24,5	2,8	0,00	0,66
37	14:20	360	35	13,3	1,63	20,2	30,8	31,8	36	6,9	1063	181,4	199,6	417,3	23,6	2,72	0,00	0,68
38	14:30	370	35,5	14,77	1,95	28,8	32,5	33,6	36,3	6,8	992,3	164,7	186,7	420,2	23,9	1,48	0,00	0,68
39	14:40	380	35,5	14,77	1,94	28,8	31,6	32,6	37,5	6,7	990,7	186,4	193,8	418,8	24,1	2,69	0,00	0,68
PROMEDIO			**28,58**	**13,86**	**1,76**	**24,78**	**27,31**	**28,63**	**27,89**	**6,33**	**703,46**	**122,65**	**151,87**	**287,42**	**20,18**	**1,11**	**0,00**	**0,67**

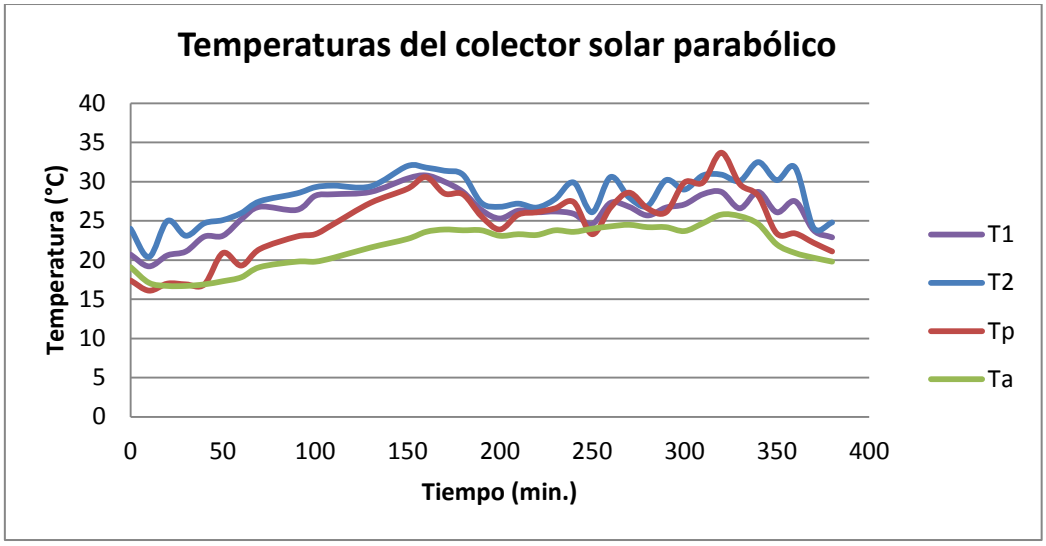
FECHA: 20/02/2014 **ENSAYO :13**

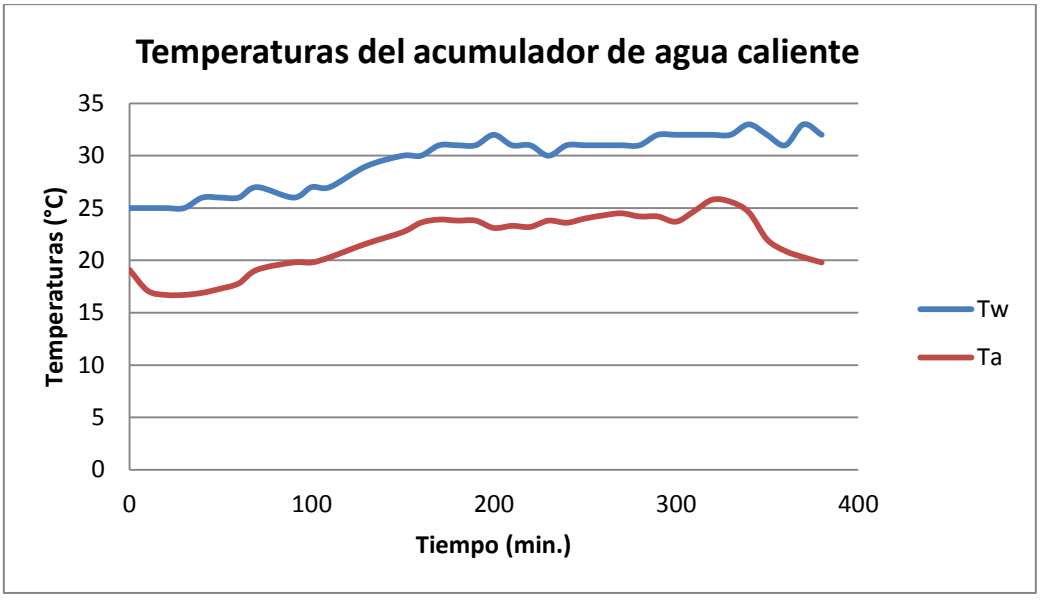
ORDEN	HORA	TIEMPO	ACUMULADOR DE AGUA CALIENTE				COLECTOR SOLAR PARABÓLICO				IRRADIANCIA				Ta	Vaire	((T2-T1)*U)/Ig	η
			Tw	V	A	P	T1	T2	Tp	Q	Ih	Id	Ia	Icolector				
	(hr)	(min)	(°C)	(V)	(A)	(W)	(°C)	(°C)	(°C)	(lpm)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(W/m²)	(°C)	(m/s)		
1	7:40	10	26	6,06	0,55	3,3	21,6	21,8	15,2	2,8	166,1	90,8	42,8	76,2	14,4	0,45	0,01	0,61
2	7:50	20	25,5	6,23	0,6	3,7	22,2	22,3	16,2	2,8	161,8	87,2	39,2	93,4	14,5	1,01	0,00	0,62
3	8:00	30	25	10,12	1,14	11,4	22	22,2	15,2	4,7	344	55	66,2	205,3	14,4	1,25	0,00	0,62
4	8:10	40	25	10,84	1,27	13,7	22,4	23	16,6	5	404,4	59,1	78,8	240,2	14,5	1,35	0,01	0,61
5	8:20	50	25	11,75	1,46	17,1	21,7	21,8	16,8	5,4	438,2	52,6	89,8	237,6	14,7	1,03	0,00	0,62
6	8:30	60	25	12,46	1,54	19,2	22,9	23	17,7	5,7	487,9	63,8	96,5	265,5	14,9	1,46	0,00	0,62
7	8:40	70	25,5	12,8	1,63	21	24,3	24,7	18,6	6,2	415	50,3	104,7	240,3	15,3	0,72	0,01	0,61
8	8:50	80	25,5	13,06	1,73	22,4	24,3	26,1	19,6	6,4	105,5	56,9	124,5	301,7	15,8	1,66	0,12	0,50
9	9:00	90	26	14,43	1,73	23,2	24,4	26	20,3	6,2	450,3	55,6	157,5	267,9	16	0,35	0,02	0,59
10	9:10	100	26	13,7	1,8	24,4	25,4	27,2	20,3	6,4	495,8	62,3	151,8	259,7	16,6	0,17	0,03	0,59
11	9:20	110	26,5	13,94	1,83	25,3	25,3	26,1	20,6	6,4	603,4	58,6	154,4	259,4	17	1,11	0,01	0,61
12	9:30	120	27	14,21	1,79	25,5	26,1	28,5	24,4	6,6	618,6	59,5	155,5	279,4	17,5	0,91	0,03	0,59
13	9:40	130	27,5	14,17	1,93	27,5	25,8	27,5	23,4	6,6	629,5	62,8	172,8	278,6	18,1	0,77	0,02	0,60
14	9:50	140	28	14,35	1,98	28,2	26,3	28,2	24,1	6,7	668,9	77,3	168,5	288,2	18,6	0,24	0,02	0,60
15	10:00	150	28,5	14,36	1,96	28,1	27,7	28,9	27	6,6	663,8	89,3	175,2	297,9	19	0,77	0,01	0,61
16	11:10	220	32,5	14,26	1,96	27,8	32,5	33,1	35	7	986,4	116	230,5	342,6	22,5	1,01	0,00	0,62
17	11:20	230	33	14,25	1,96	28	34	34,9	35,3	7	1031	179,7	259,7	348,1	23,2	1,25	0,01	0,61

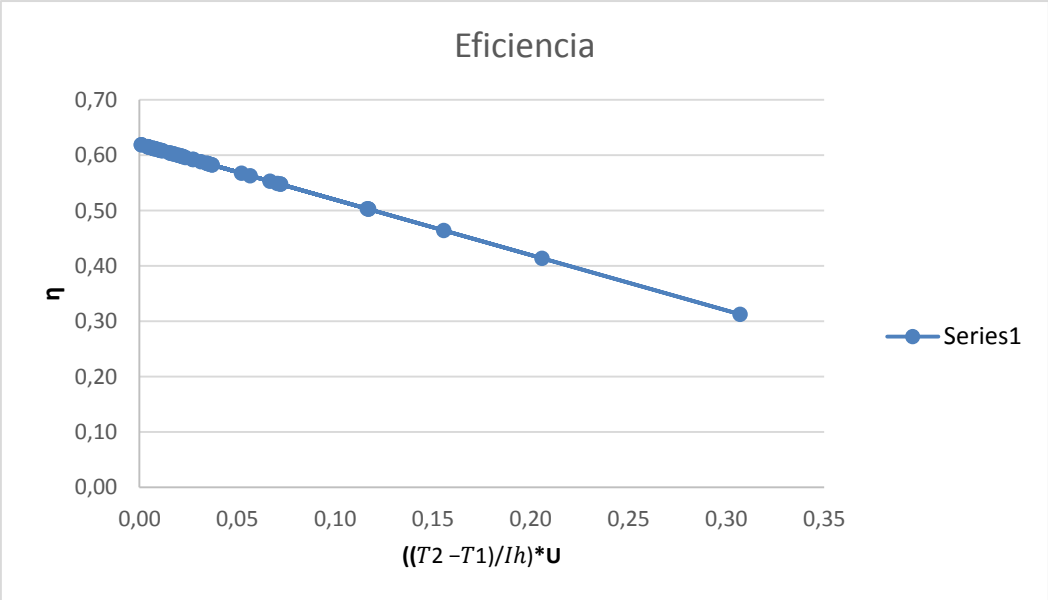
18	11:30	240	34	14,42	1,98	28,4	37,8	37,8	38,8	7	766,9	163,5	219,7	362,9	23,5	0,72	0,00	0,62
19	11:40	250	34	14,03	2	28,1	35,5	35,8	39,4	7	1193	149,1	204,5	266,7	23,9	2,31	0,00	0,62
20	11:50	260	34,5	10,76	1,28	13,7	34	34,7	33,7	5,8	370,8	165,7	98,5	142,4	23,1	1,44	0,01	0,61
21	12:00	270	35	12	1,52	18,2	33,5	33,6	32,4	6,6	426,8	200,5	110,1	169,9	23	3,28	0,00	0,62
22	12:10	280	35	13,18	1,79	27	32,2	32,6	27,1	5,8	635,2	203	115,8	160,8	22,9	0,53	0,00	0,62
23	12:20	290	35	10	1,16	11,6	32,5	33,1	30,7	5,6	314,5	223,3	93,4	137,8	23,4	0,66	0,01	0,61
24	12:30	300	35	10,51	1,27	13,3	31	31,3	27,4	5,3	317	242,5	70,1	196,8	22,4	1,02	0,01	0,61
25	12:40	310	35,5	10,46	1,26	13,1	33,3	34	30,8	5,8	308,5	254,6	71,3	166,1	23,4	2,74	0,02	0,60
26	12:50	320	35,5	12,46	1,67	21	34,7	35	32,2	6	372,3	283	89,3	182,8	23,2	0,36	0,01	0,61
27	13:00	330	36	14,42	2	28,8	33,2	34,8	35,5	7,3	1489	484	259,1	313,2	24,3	2,11	0,01	0,61
28	13:10	340	36	12,25	1,58	19,2	33,2	33,3	35,1	6,7	422,3	332,6	86,1	219,2	25,2	1,48	0,00	0,62
29	13:20	350	36	15,17	2,24	33,6	33,7	34,4	34	7,6	521,5	363,8	131	210	24,7	1,56	0,01	0,61
30	13:30	360	37	14,8	2,04	30	34,6	35,7	38,5	7,1	639,9	348,7	125,5	478,3	25,5	2,64	0,01	0,61
31	13:40	370	37	14,41	2	28,8	32	37,4	38	7,2	1079	455,7	204,2	394,2	25,7	1,39	0,04	0,58
32	13:50	380	39	14,7	1,94	27,3	33,8	36,2	38,1	7	1017	140	223	310,4	26,2	0,75	0,02	0,60
33	14:00	390	39,5	7,68	0,89	6,3	30,1	32,7	32,5	4,8	233,4	129,5	68,2	127,9	25,1	0,5	0,08	0,54
34	14:10	400	39,5	8	0,75	6	30,2	33,4	32,1	4,2	228,6	81,5	66,1	138,3	24,8	1,09	0,10	0,52
35	14:20	410	39	7,55	0,82	6,1	31	34,5	28,4	3,6	250,3	104,1	69,5	103	23,6	1,87	0,10	0,52
36	14:40	430	39	6,23	0,65	3,9	26,1	31,6	27,8	3,2	204,2	88,5	62,7	98,8	23,7	1,01	0,19	0,43
PROMEDIO			**31,92**	**12,06**	**1,55**	**19,84**	**29,20**	**30,48**	**27,74**	**5,89**	**540,58**	**158,07**	**128,79**	**235,04**	**20,68**	**1,19**	**0,03**	**0,59**

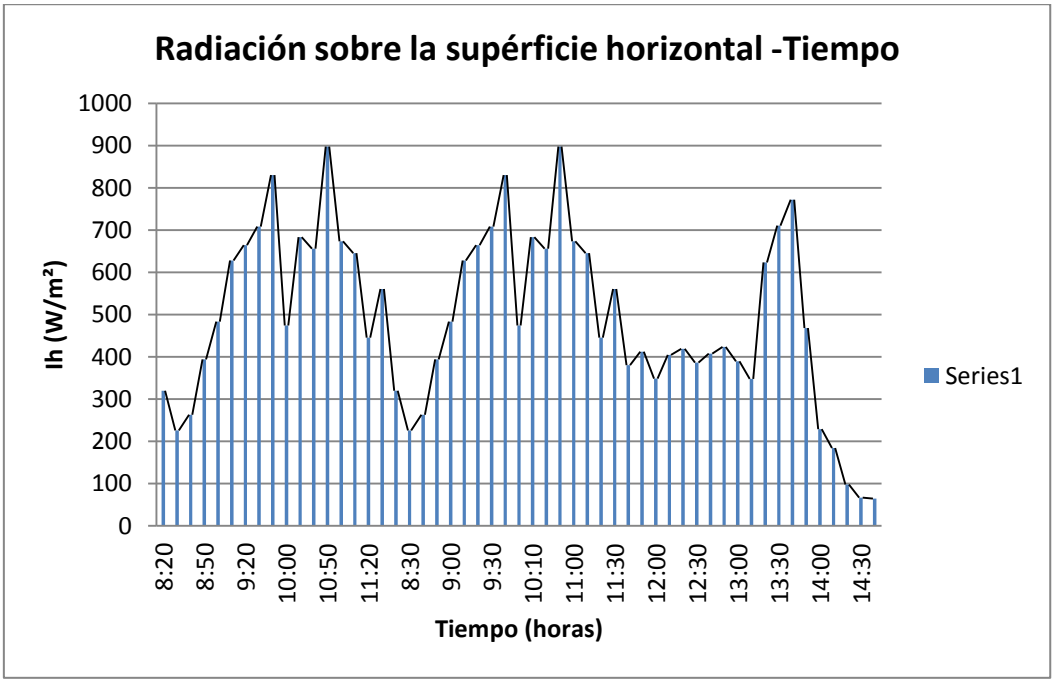
ANEXO B: GRÁFICOS DE LOS ENSAYOS DEL CSP CON BFV

ENSAYO: 1

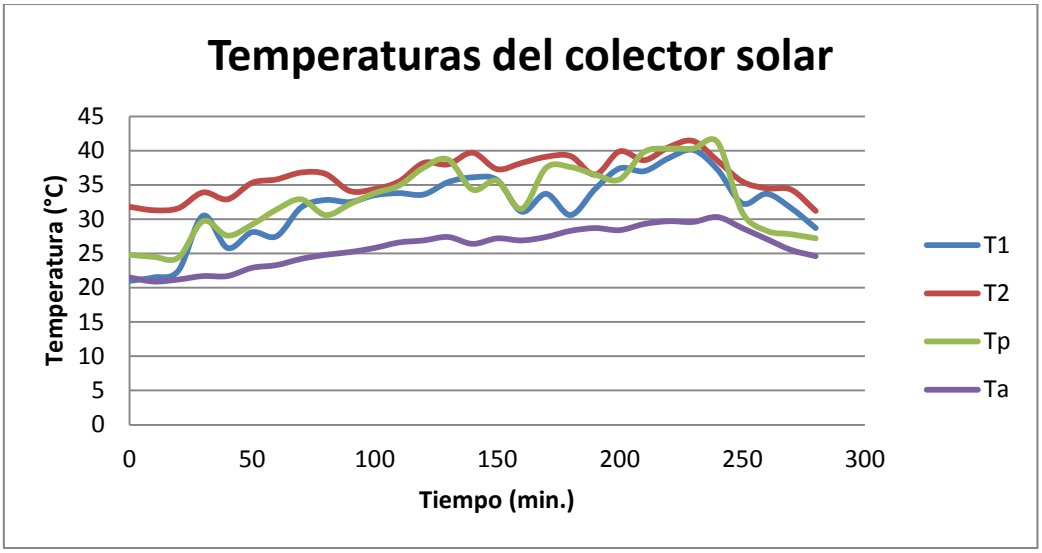


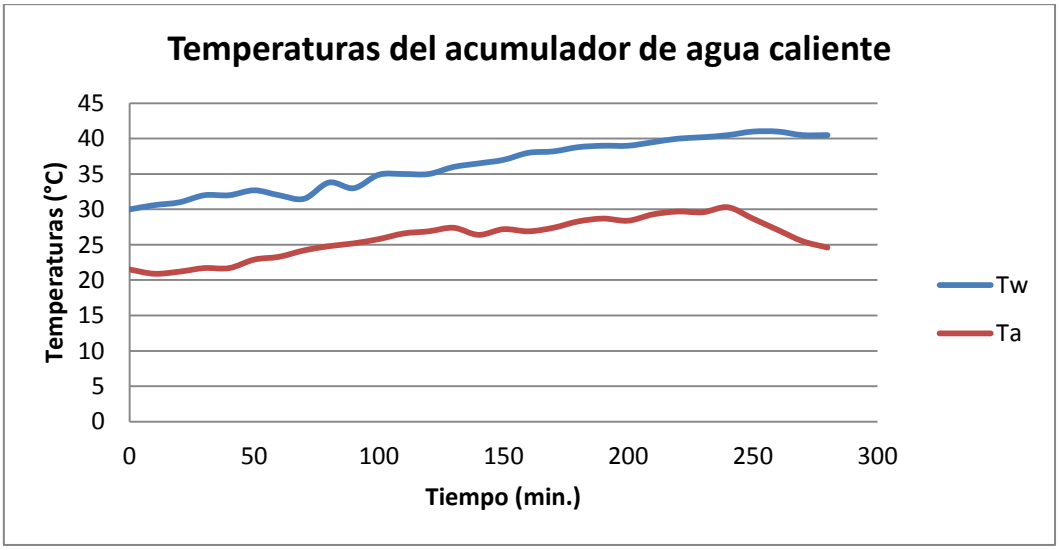


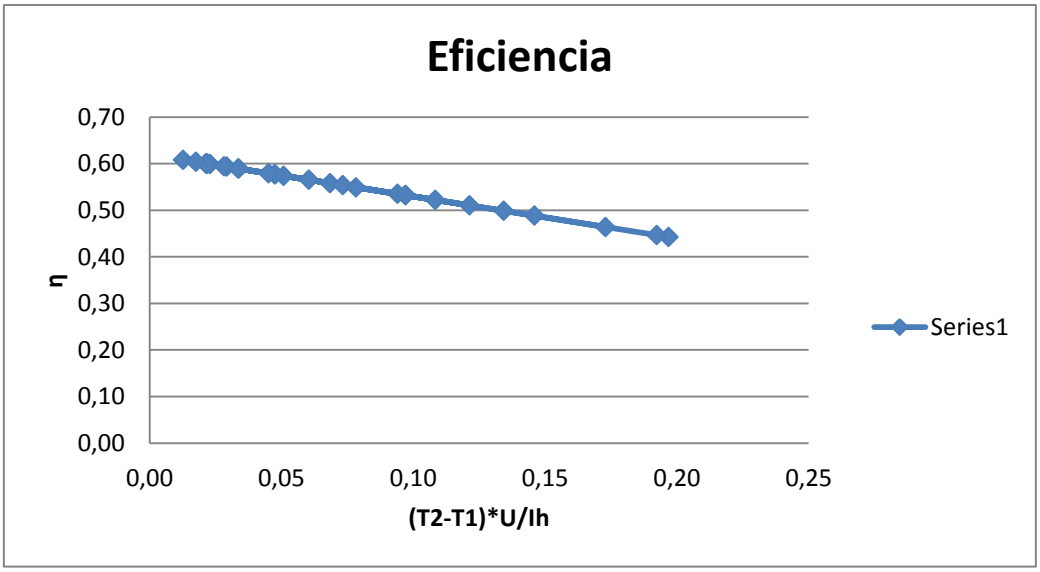

Eficiencia
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
η
0,00
0,05
0,10
0,15
0,20
0,25
0,30
0,35
((T2 –T1)/Ih)*U
Series1

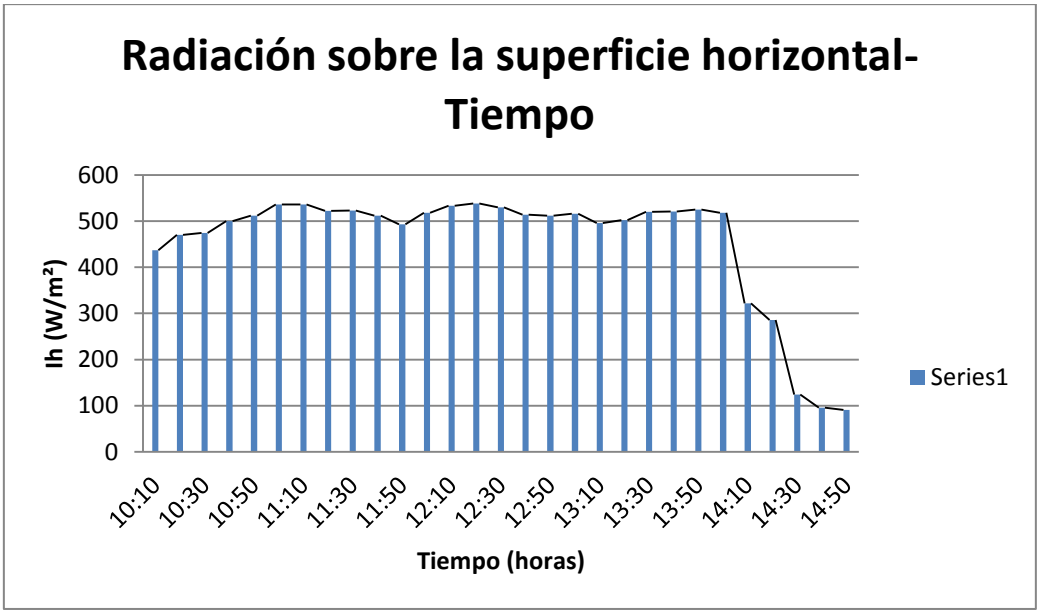

Radiación sobre la supérficie horizontal -Tiempo
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Ih (W/m²)
8:20
8:50
9:20
10:00
10:50
11:20
8:30
9:00
9:30
10:10
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
Tiempo (horas)
Series1

ENSAYO: 2

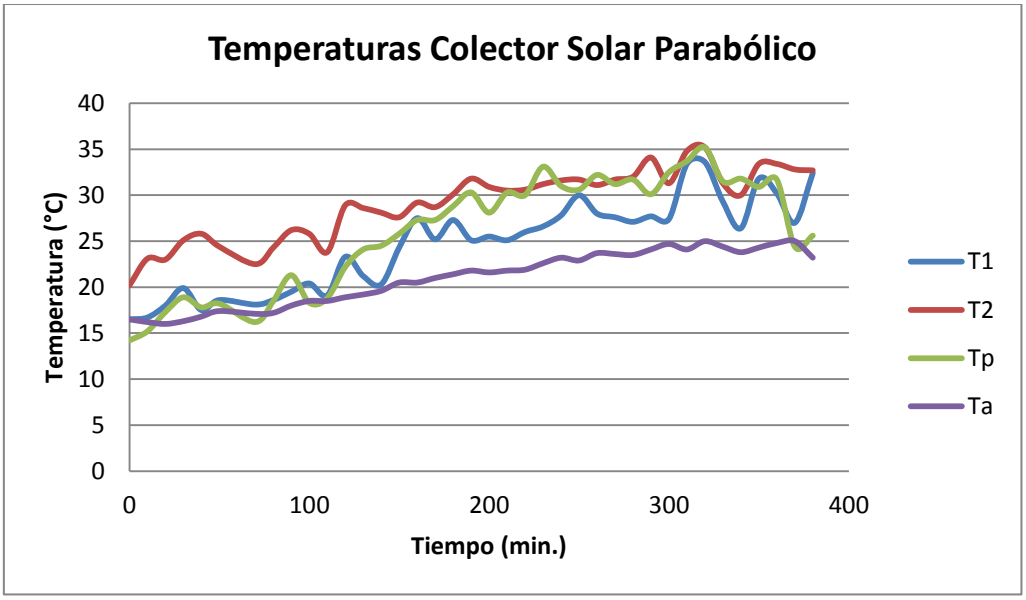

Temperaturas del colector solar
Temperatura (°C)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
50
100
150
200
250
300
Tiempo (min.)
T1
T2
Tp
Ta

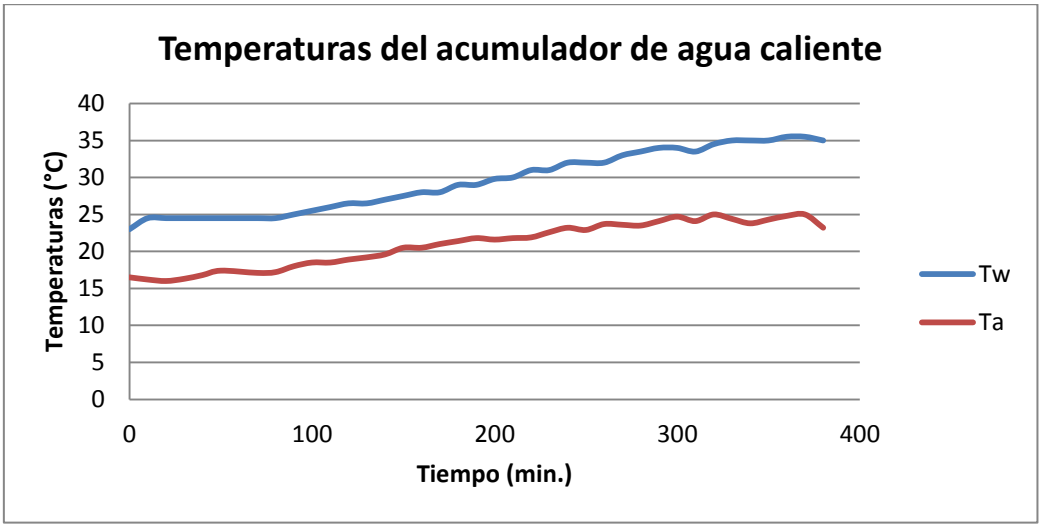

Temperaturas del acumulador de agua caliente
Temperaturas (°C)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
50
100
150
200
250
300
Tiempo (min.)
Tw
Ta

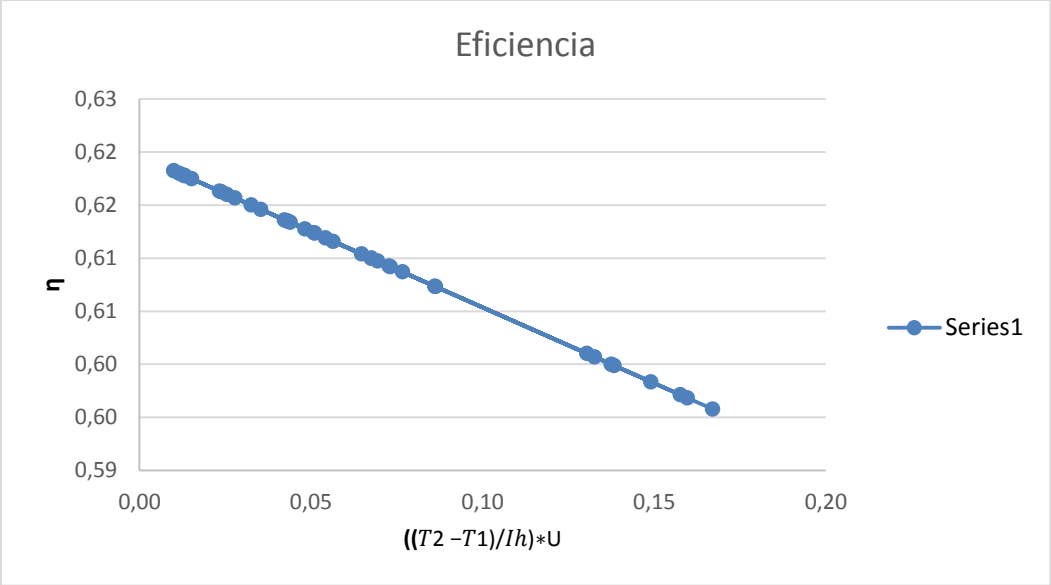

Eficiencia
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
η
0,00
0,05
0,10
0,15
0,20
0,25
(T2-T1)*U/Ih
Series1

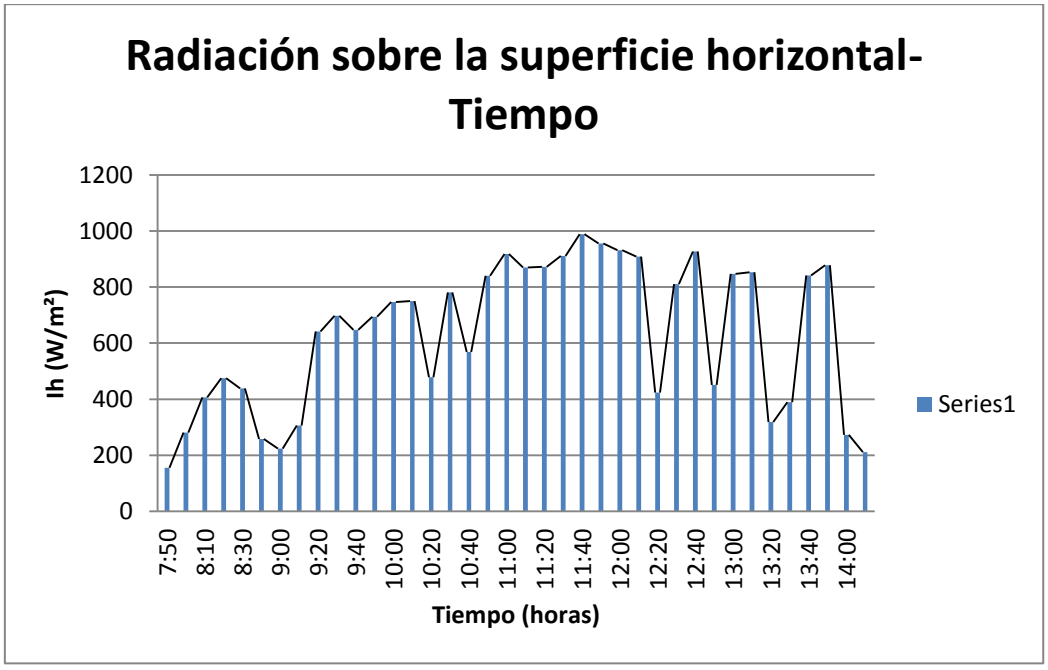

Radiación sobre la superficie horizontal-Tiempo
600
500
400
300
200
100
0
Ih (W/m²)
10:10
10:30
10:50
11:10
11:30
11:50
12:10
12:30
12:50
13:10
13:30
13:50
14:10
14:30
14:50
Tiempo (horas)
Series1

ENSAYO: 3

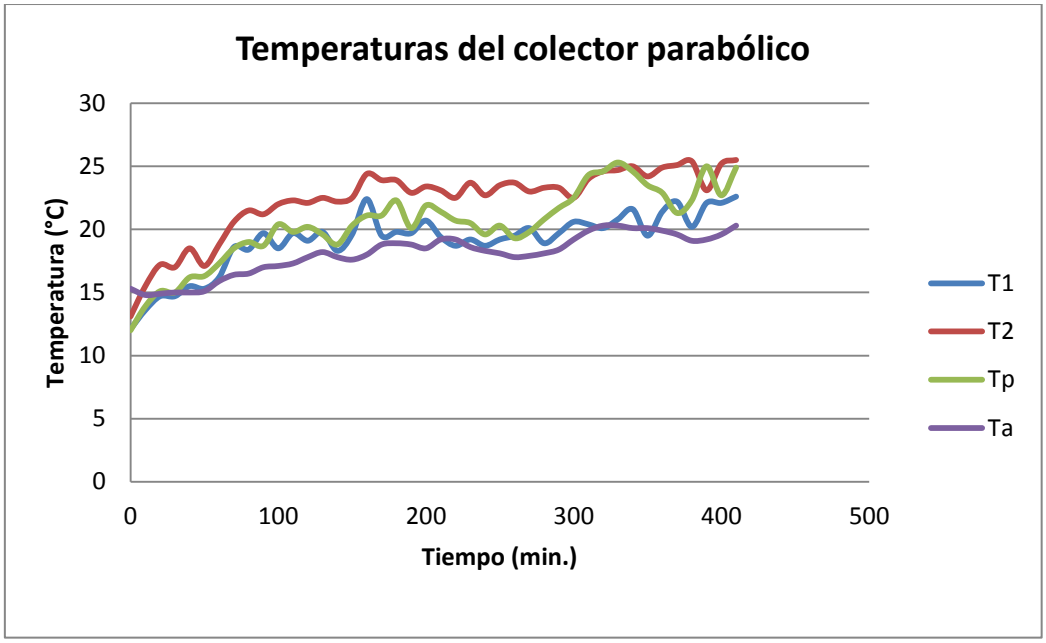

Temperaturas Colector Solar Parabólico
Temperatura (°C)
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
Tiempo (min.)
T1
T2
Tp
Ta

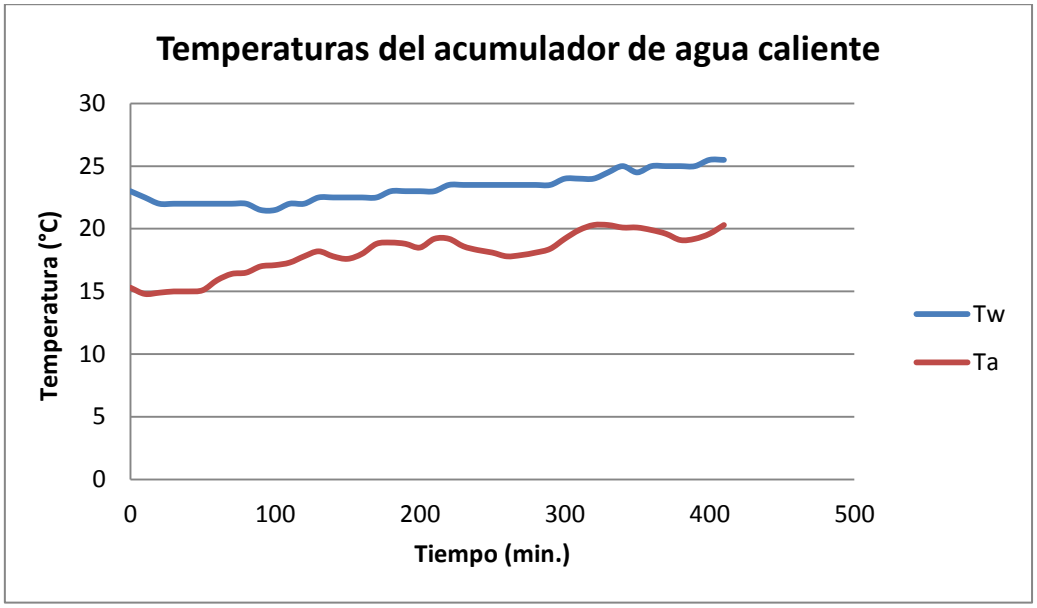

Temperaturas del acumulador de agua caliente
Temperaturas (°C)
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
Tiempo (min.)
Tw
Ta

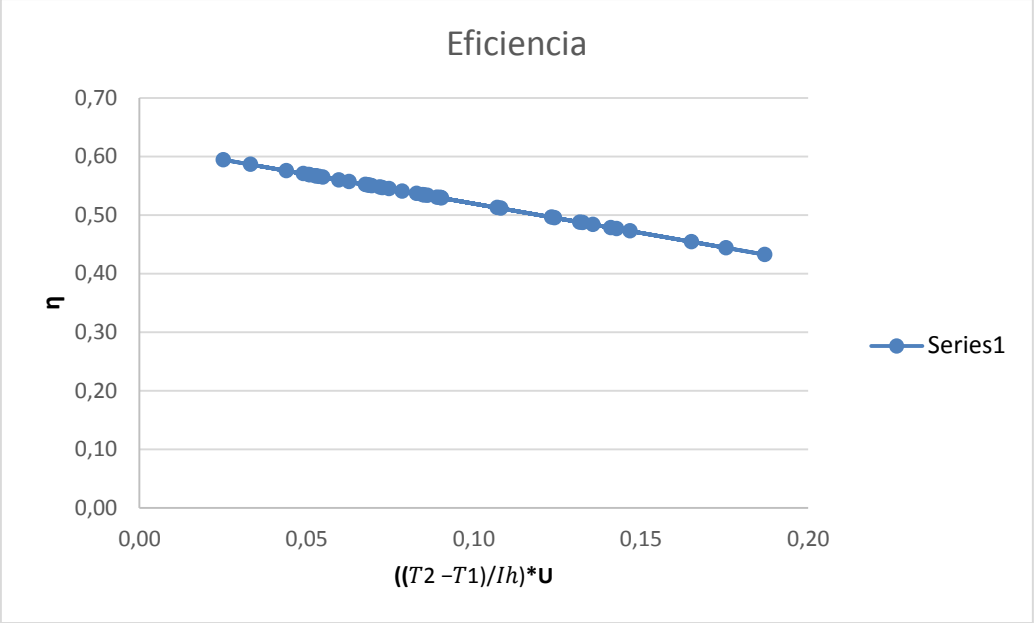

Eficiencia
0,63
0,62
0,62
0,61
0,61
0,60
0,60
0,59
η
0,00
0,05
0,10
0,15
0,20
((T2 −T1)/Ih)∗U
Series1

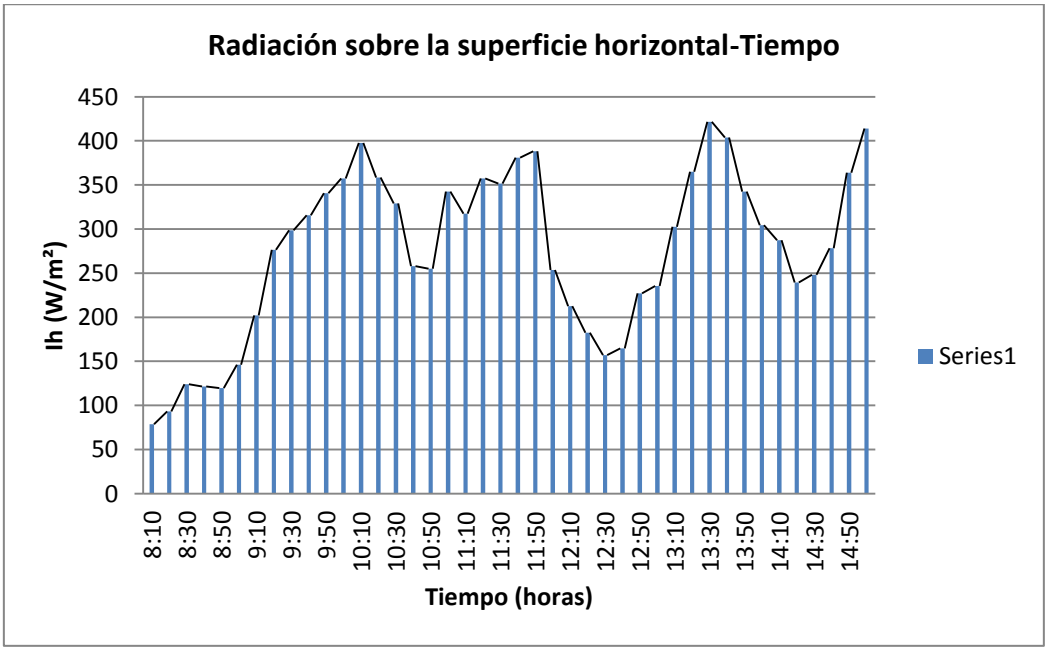

Radiación sobre la superficie horizontal-Tiempo
1200
1000
800
600
400
200
0
Ih (W/m²)
7:50
8:10
8:30
9:00
9:20
9:40
10:00
10:20
10:40
11:00
11:20
11:40
12:00
12:20
12:40
13:00
13:20
13:40
14:00
Tiempo (horas)
Series1

ENSAYO: 4

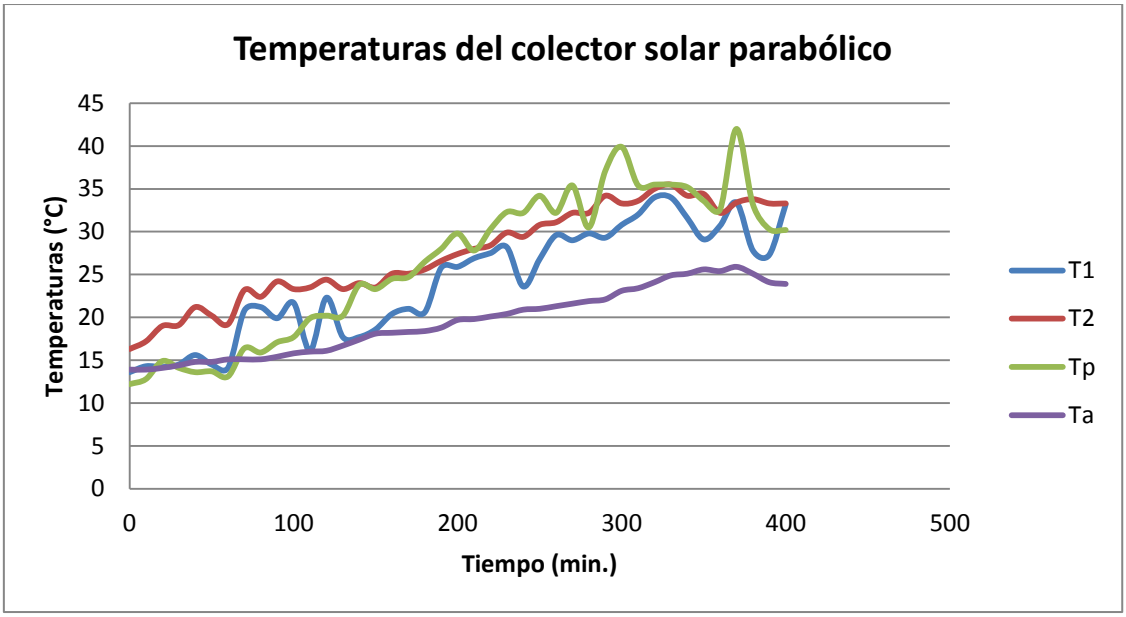

Temperaturas del colector parabólico
Temperatura (°C)
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
T1
T2
Tp
Ta

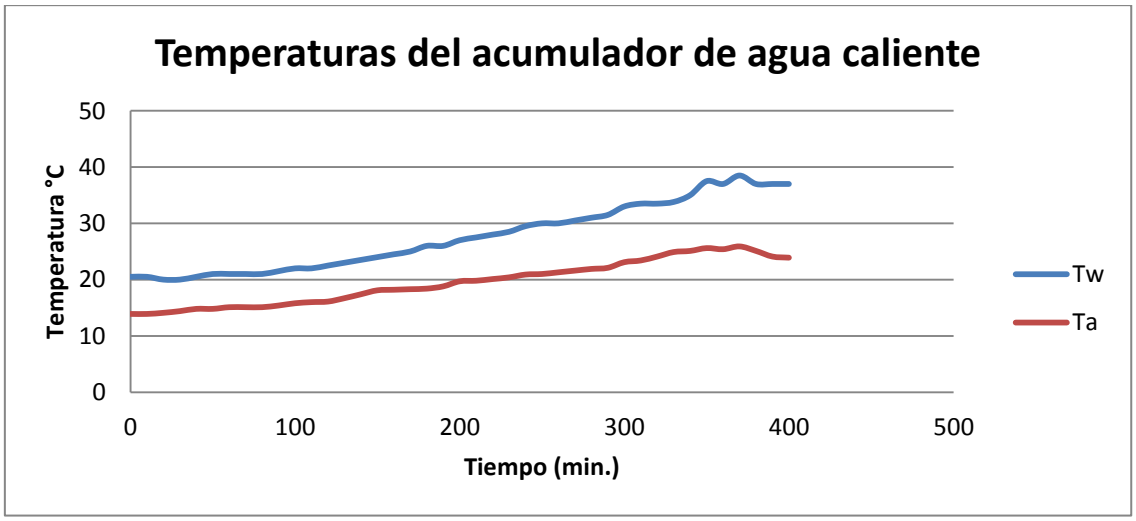

Temperaturas del acumulador de agua caliente
Temperatura (°C)
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
Tw
Ta

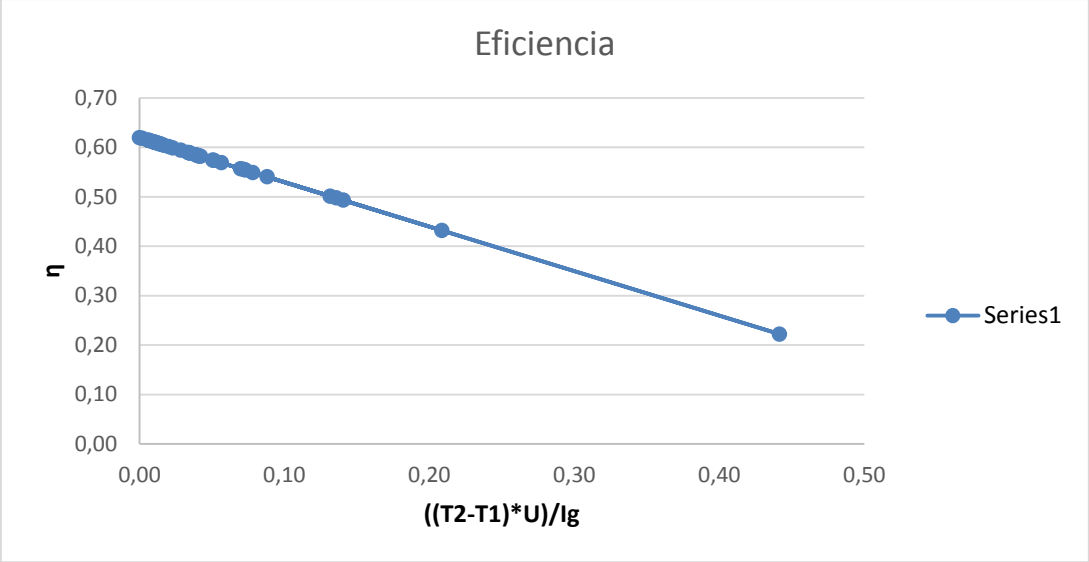

Eficiencia
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
η
0,00
0,05
0,10
0,15
0,20
((T2 –T1)/Ih)*U
Series1

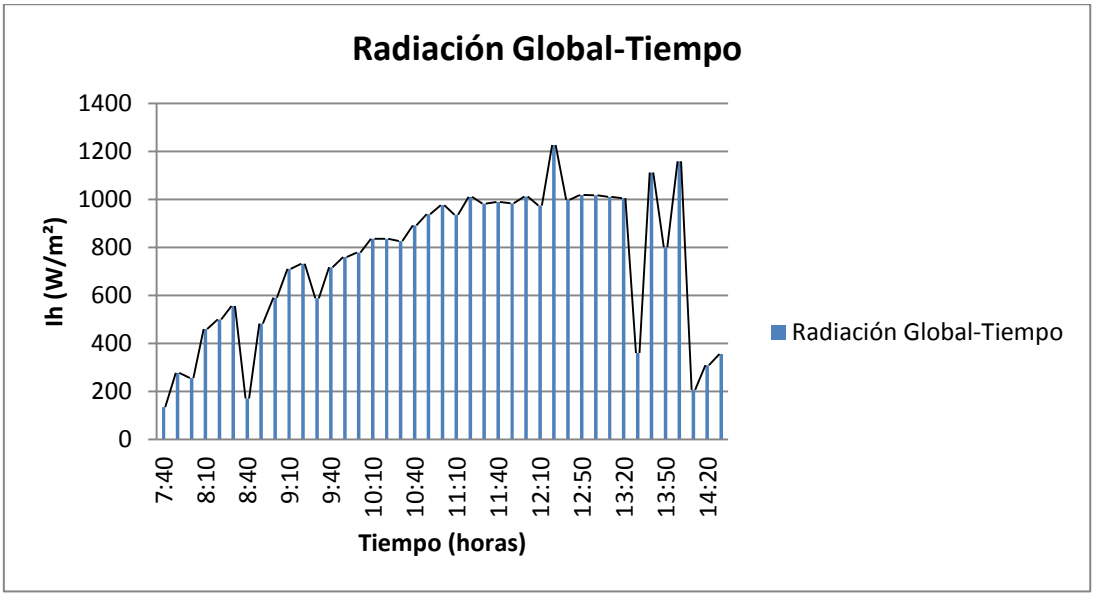

Radiación sobre la superficie horizontal-Tiempo
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
Ih (W/m²)
8:10
8:30
8:50
9:10
9:30
9:50
10:10
10:30
10:50
11:10
11:30
11:50
12:10
12:30
12:50
13:10
13:30
13:50
14:10
14:30
14:50
Tiempo (horas)
Series1

ENSAYO: 5

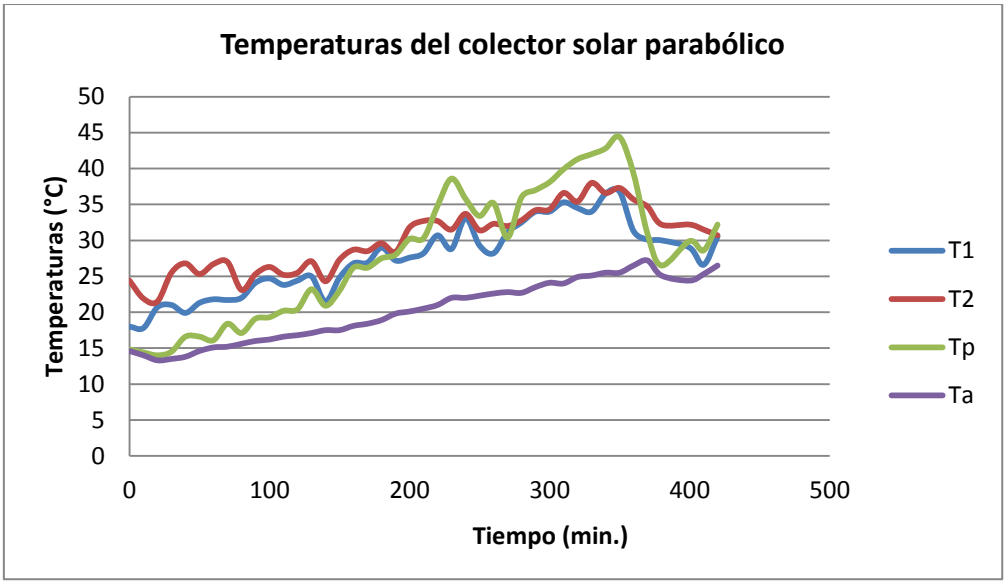

Temperaturas del colector solar parabólico
Temperaturas (°C)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
T1
T2
Tp
Ta

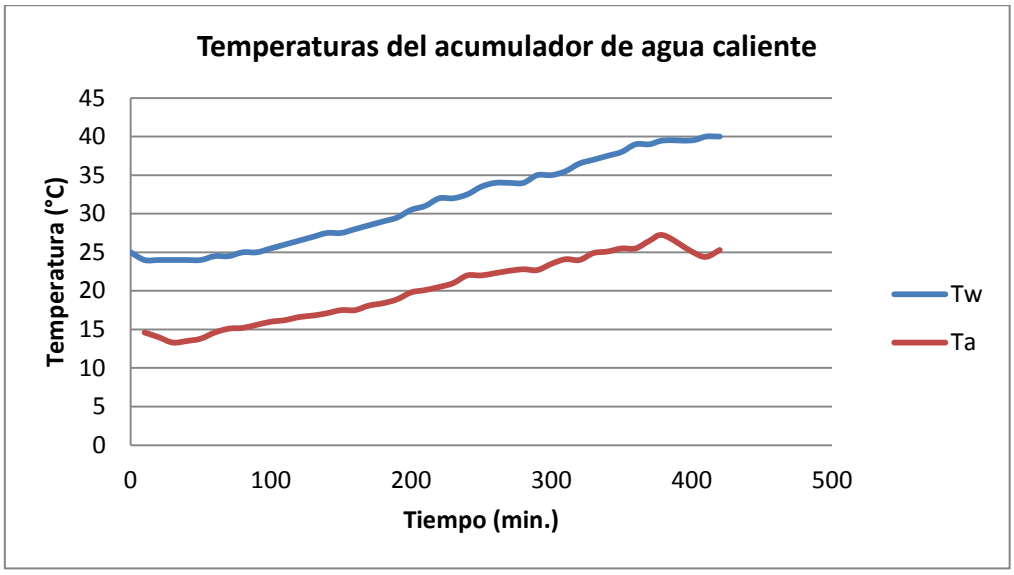

Temperaturas del acumulador de agua caliente
Temperatura °C
50
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
Tw
Ta

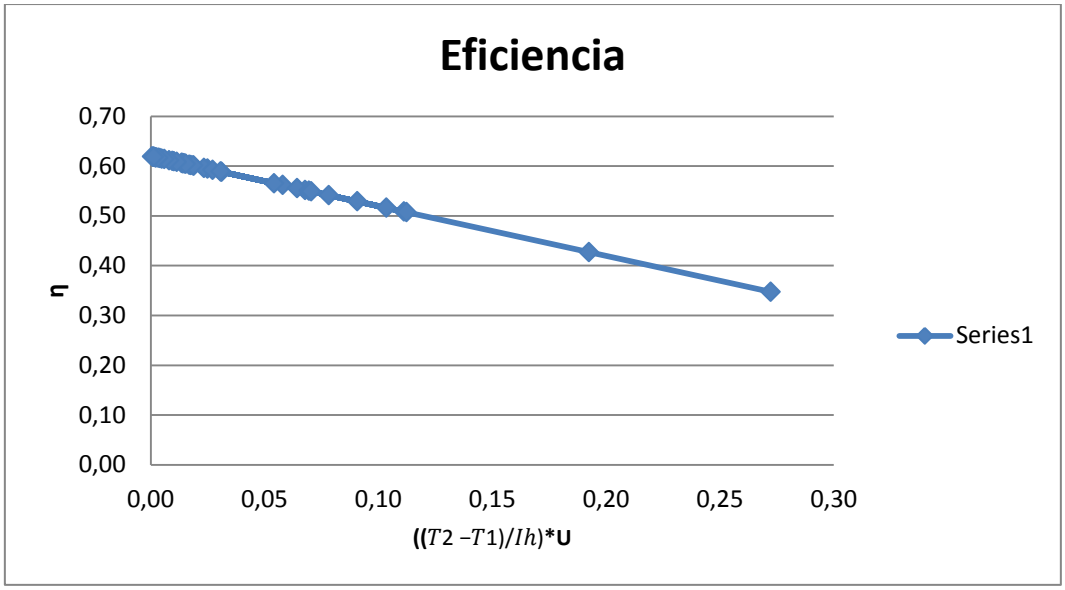

Eficiencia
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
η
0,00
0,10
0,20
0,30
0,40
0,50
((T2-T1)*U)/Ig
Series1

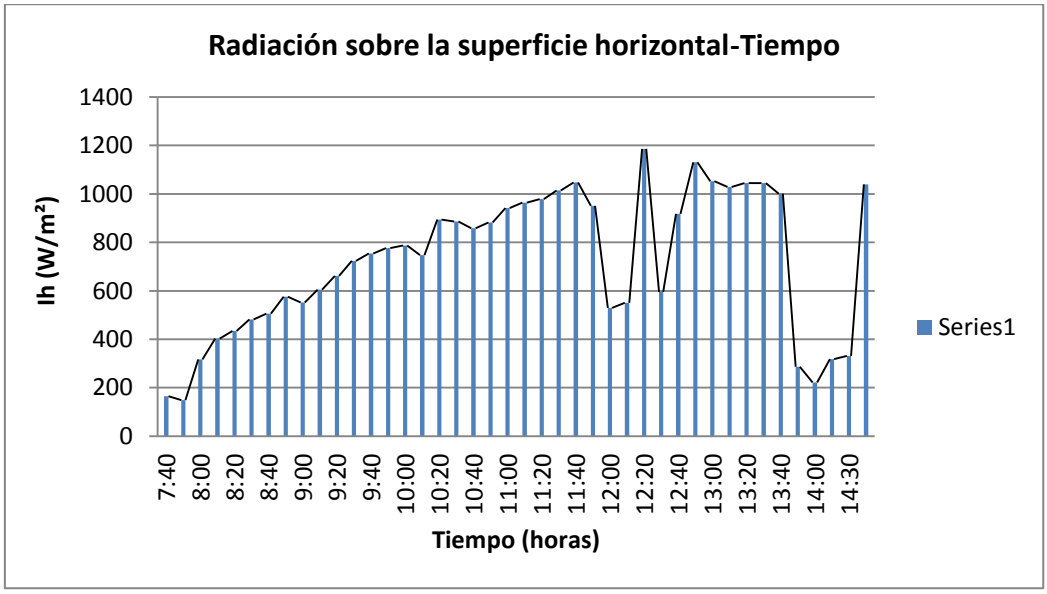

Radiación Global-Tiempo
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Ih (W/m²)
7:40
8:10
8:40
9:10
9:40
10:10
10:40
11:10
11:40
12:10
12:50
13:20
13:50
14:20
Tiempo (horas)
Radiación Global-Tiempo

ENSAYO: 6

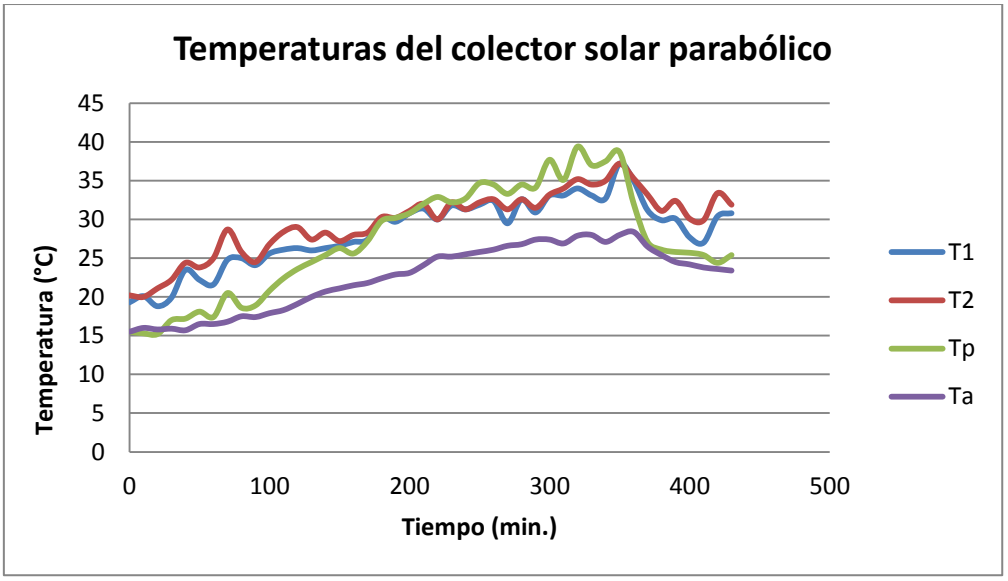

Temperaturas del colector solar parabólico
Temperaturas (°C)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
T1
T2
Tp
Ta

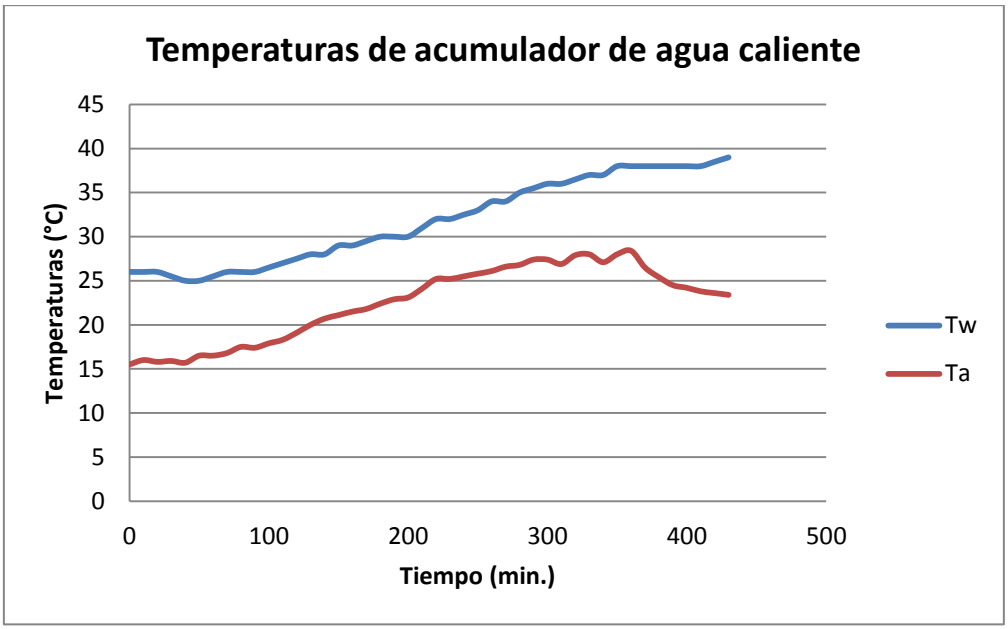

Temperaturas del acumulador de agua caliente
Temperatura (°C)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
Tw
Ta

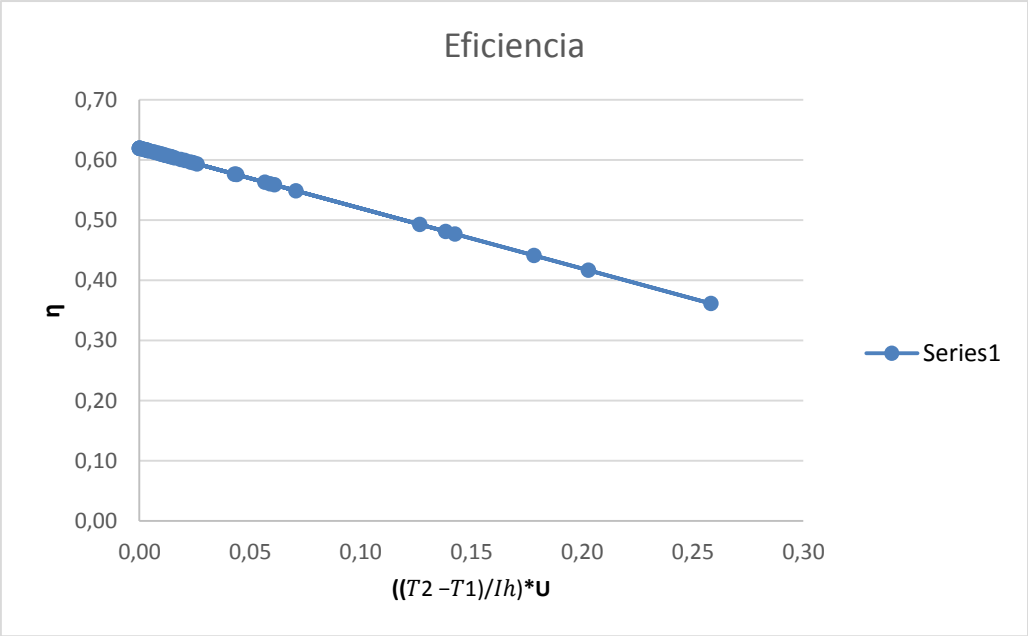

Eficiencia
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
η
0,00
0,05
0,10
0,15
0,20
0,25
0,30
((T2 −T1)/Ih)*U
Series1

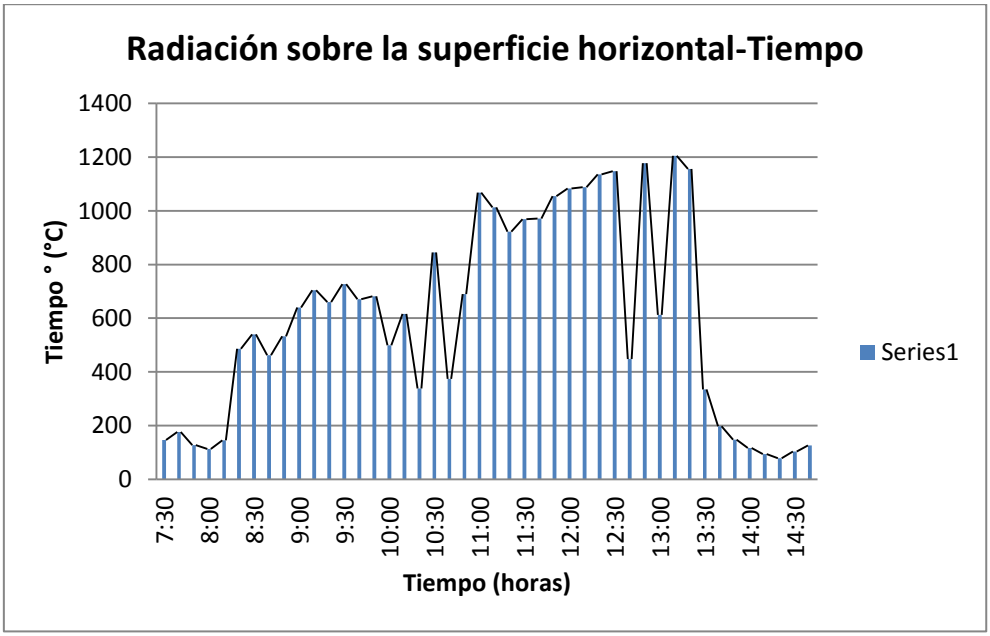

Radiación sobre la superficie horizontal-Tiempo
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Ih (W/m²)
7:40
8:00
8:20
8:40
9:00
9:20
9:40
10:00
10:20
10:40
11:00
11:20
11:40
12:00
12:20
12:40
13:00
13:20
13:40
14:00
14:30
Tiempo (horas)
Series1

ENSAYO: 7

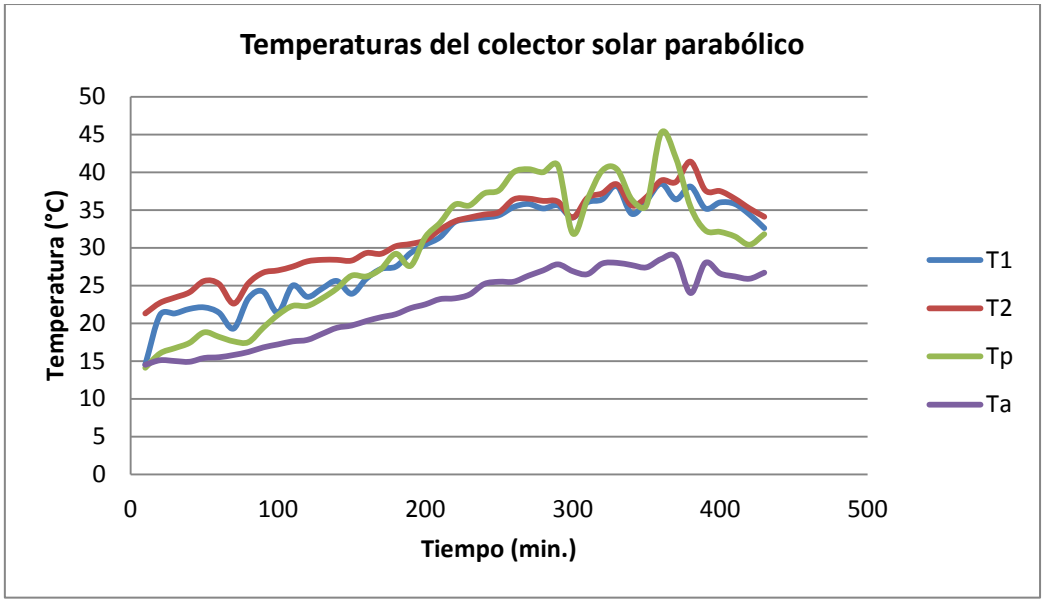

Temperaturas del colector solar parabólico
Temperatura (°C)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
T1
T2
Tp
Ta

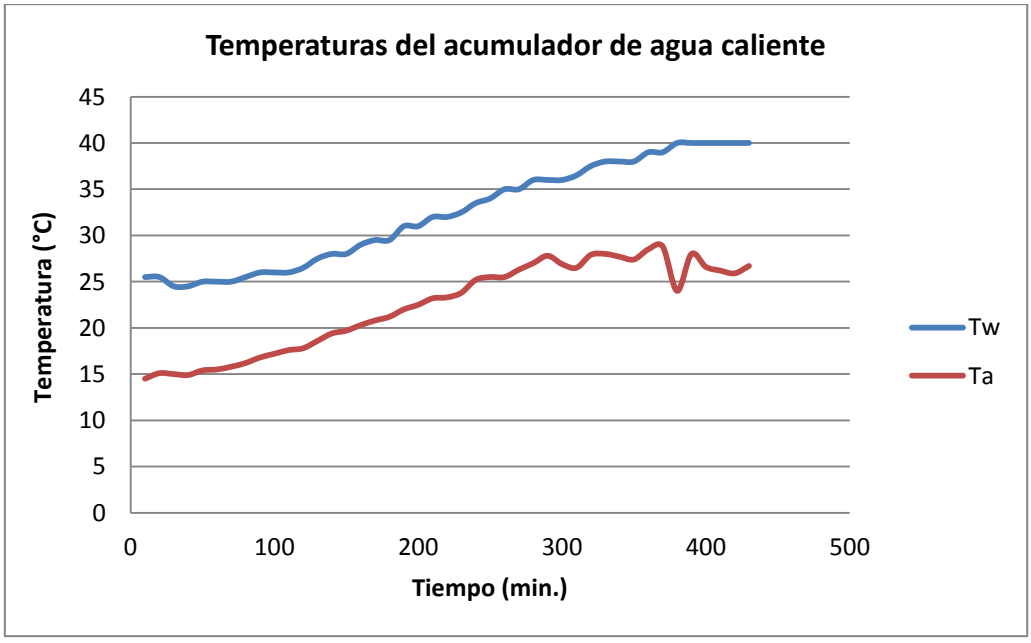

Temperaturas de acumulador de agua caliente
Temperaturas (°C)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
Tw
Ta

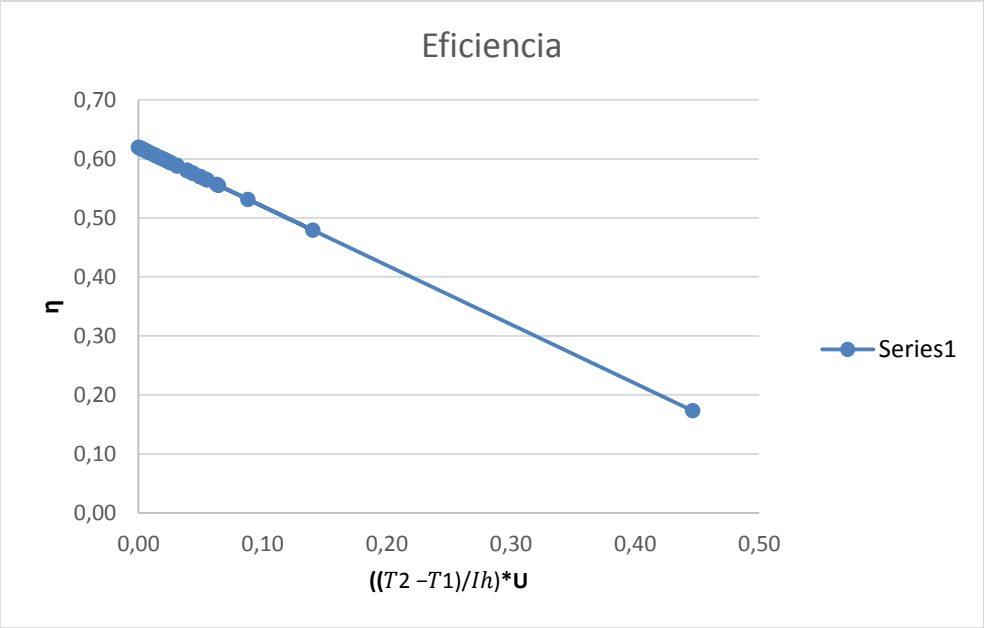

Eficiencia
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
η
0,00
0,05
0,10
0,15
0,20
0,25
0,30
((T2 –T1)/Ih)*U
Series1

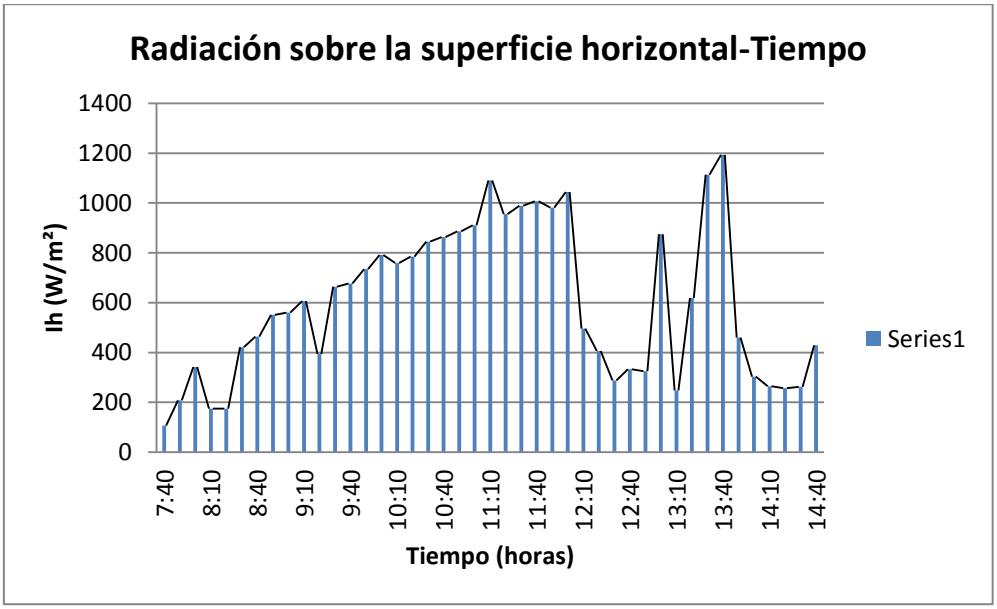

Radiación sobre la superficie horizontal-Tiempo
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Tiempo ° (°C)
7:30
8:00
8:30
9:00
9:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
Tiempo (horas)
Series1

ENSAYO: 8

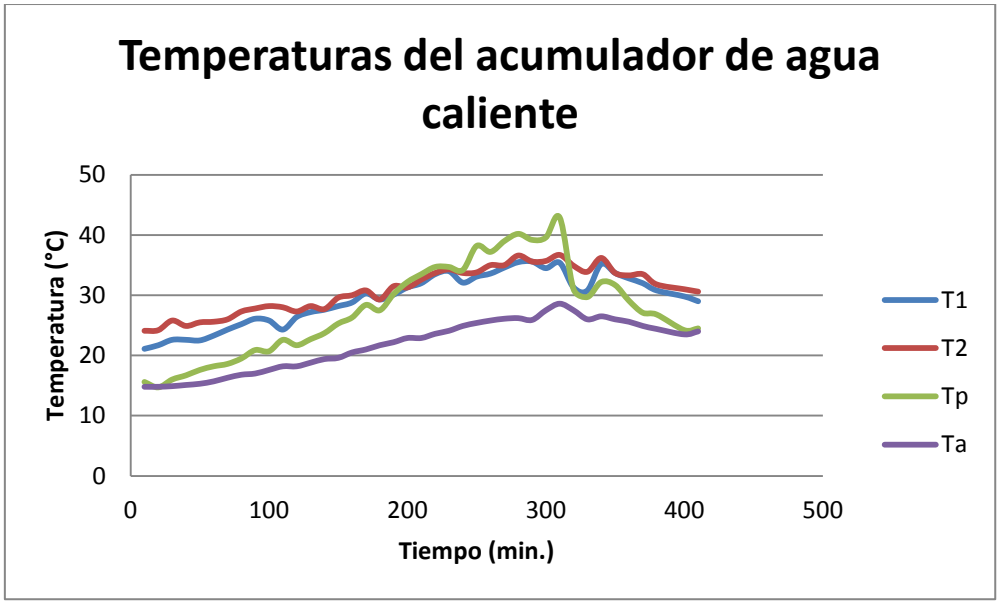

Temperaturas del colector solar parabólico
Temperatura (°C)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
T1
T2
Tp
Ta

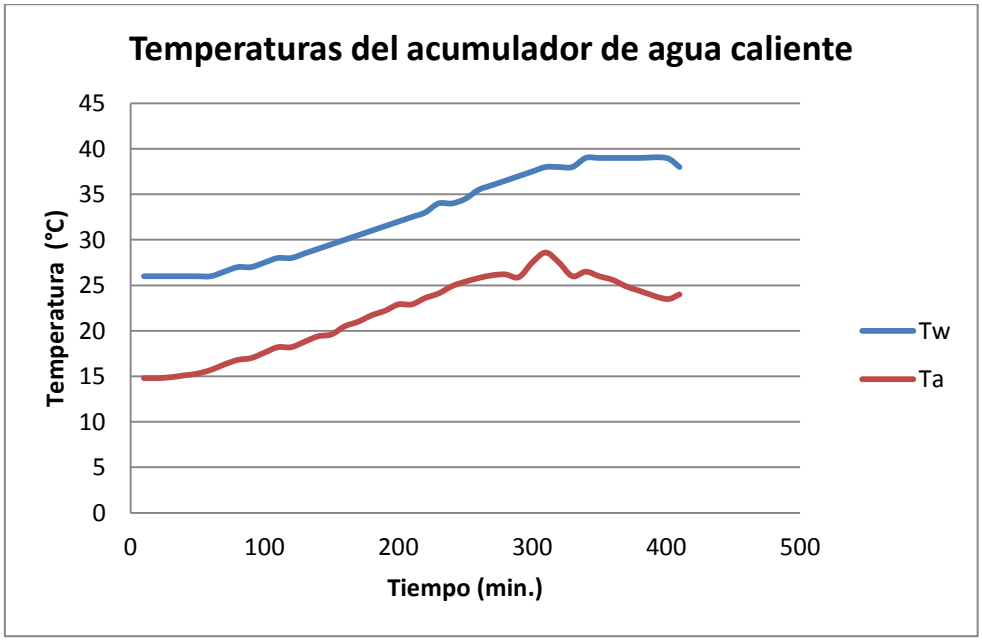

Temperaturas del acumulador de agua caliente
Temperatura (°C)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
Tw
Ta

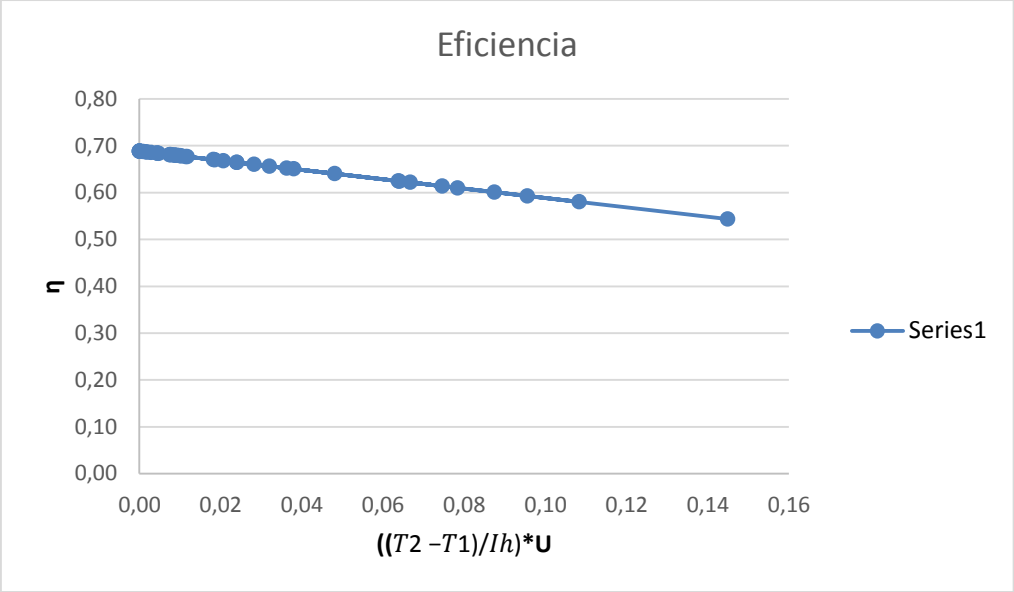

Eficiencia
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
η
0,00
0,10
0,20
0,30
0,40
0,50
((T2 −T1)/Ih)*U
Series1

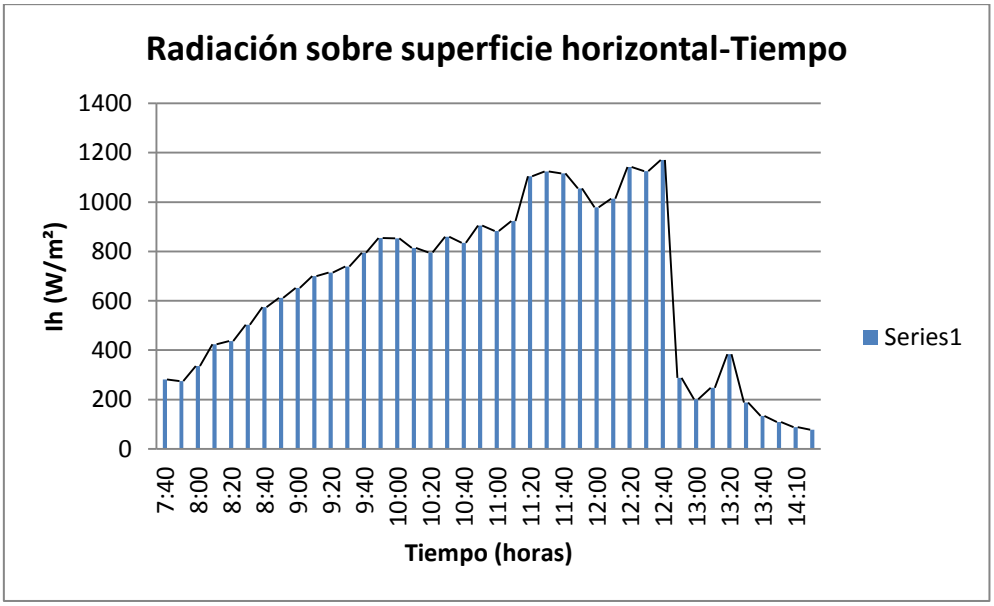

Radiación sobre la superficie horizontal-Tiempo
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Ih (W/m²)
7:40
8:10
8:40
9:10
9:40
10:10
10:40
11:10
11:40
12:10
12:40
13:10
13:40
14:10
14:40
Tiempo (horas)
Series1

ENSAYO: 9

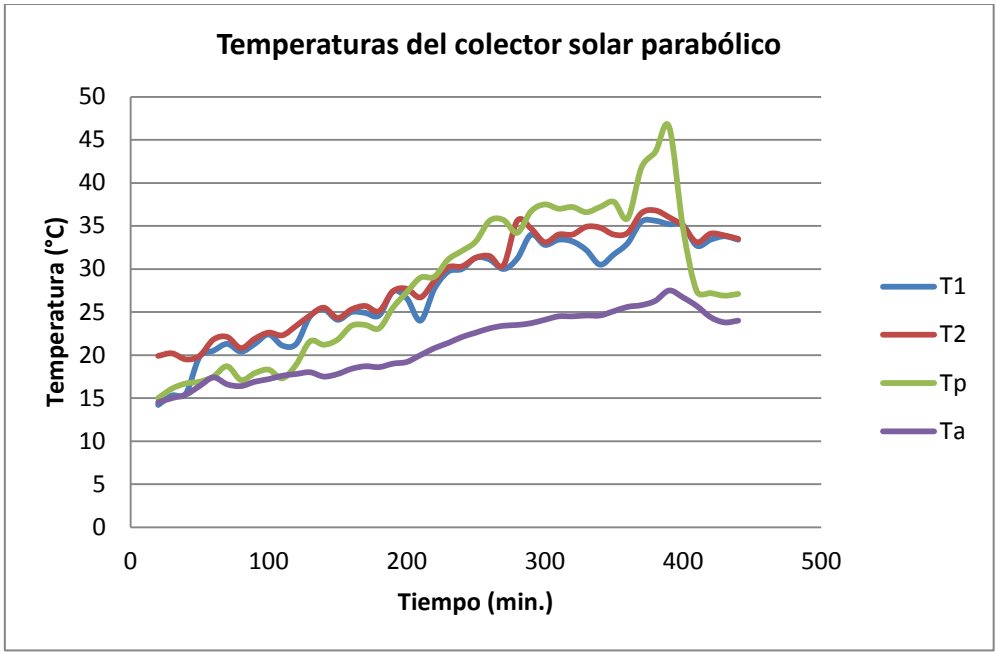

Temperaturas del acumulador de agua caliente
Temperatura (°C)
50
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
T1
T2
Tp
Ta

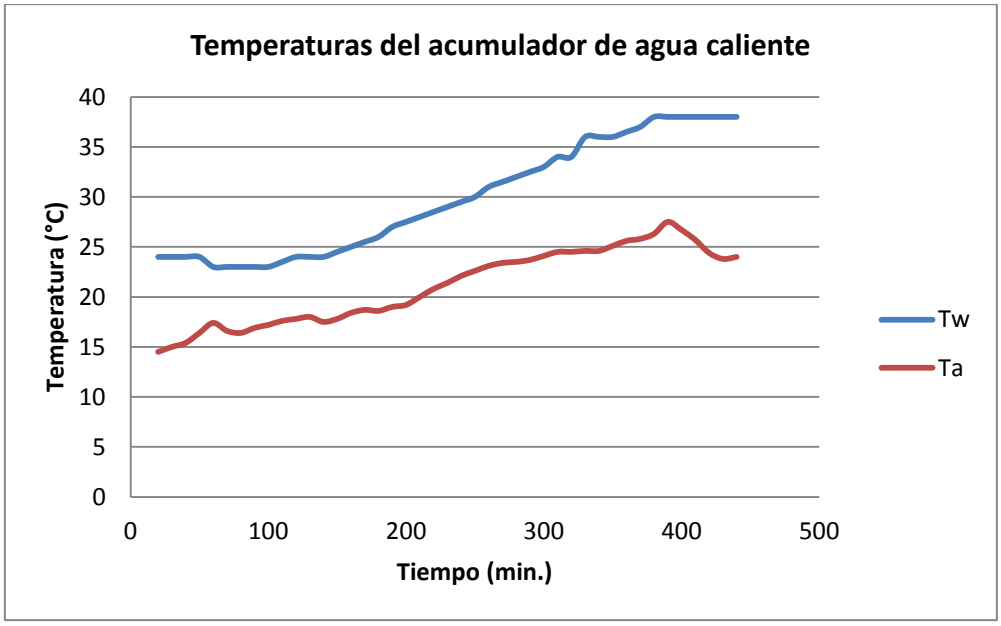

Temperaturas del acumulador de agua caliente
Temperatura (°C)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
Tw
Ta

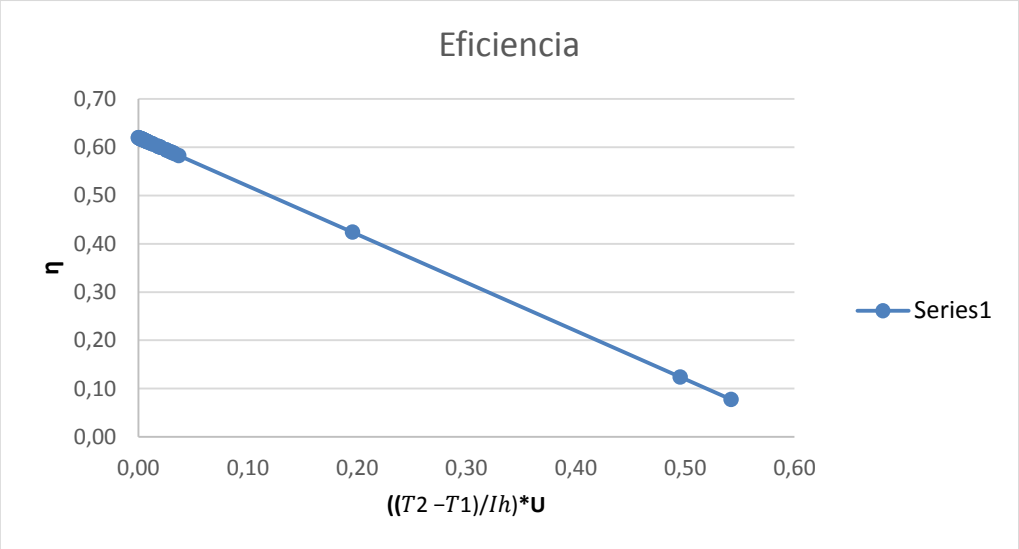

Eficiencia
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
η
0,00
0,02
0,04
0,06
0,08
0,10
0,12
0,14
0,16
((T2 –T1)/Ih)*U
Series1

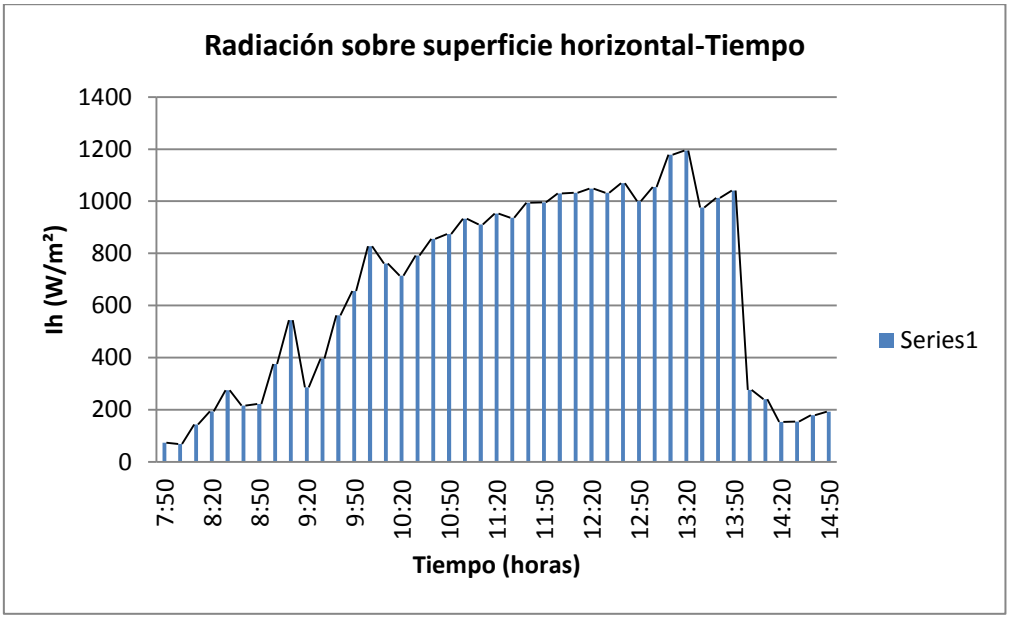

Radiación sobre superficie horizontal-Tiempo
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Ih (W/m²)
7:40
8:00
8:20
8:40
9:00
9:20
9:40
10:00
10:20
10:40
11:00
11:20
11:40
12:00
12:20
12:40
13:00
13:20
13:40
14:10
Tiempo (horas)
Series1

ENSAYO: 10

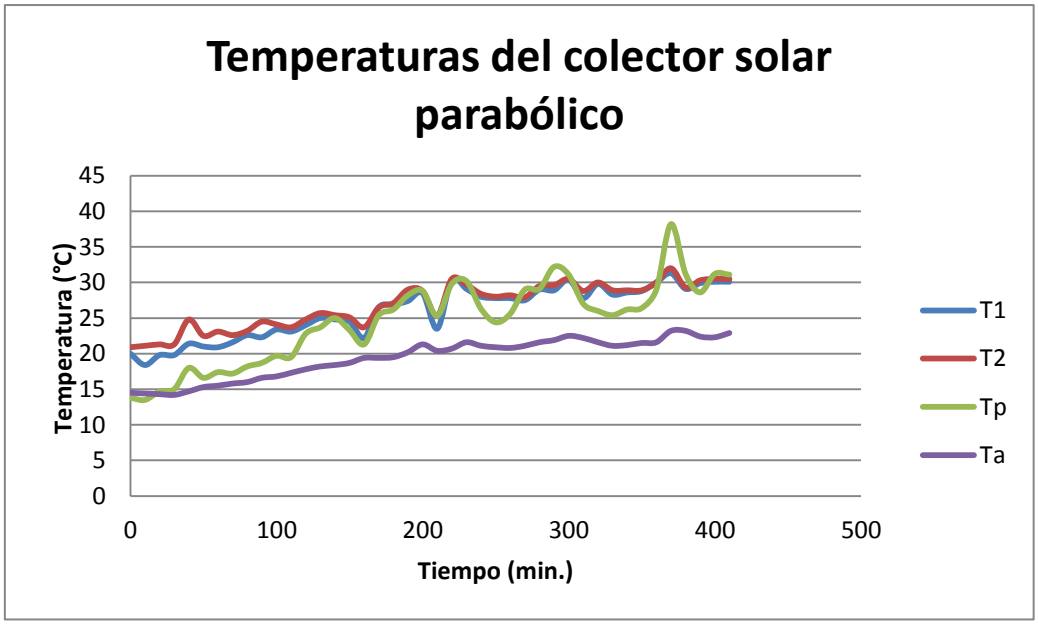

Temperaturas del colector solar parabólico
Temperatura (°C)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
T1
T2
Tp
Ta

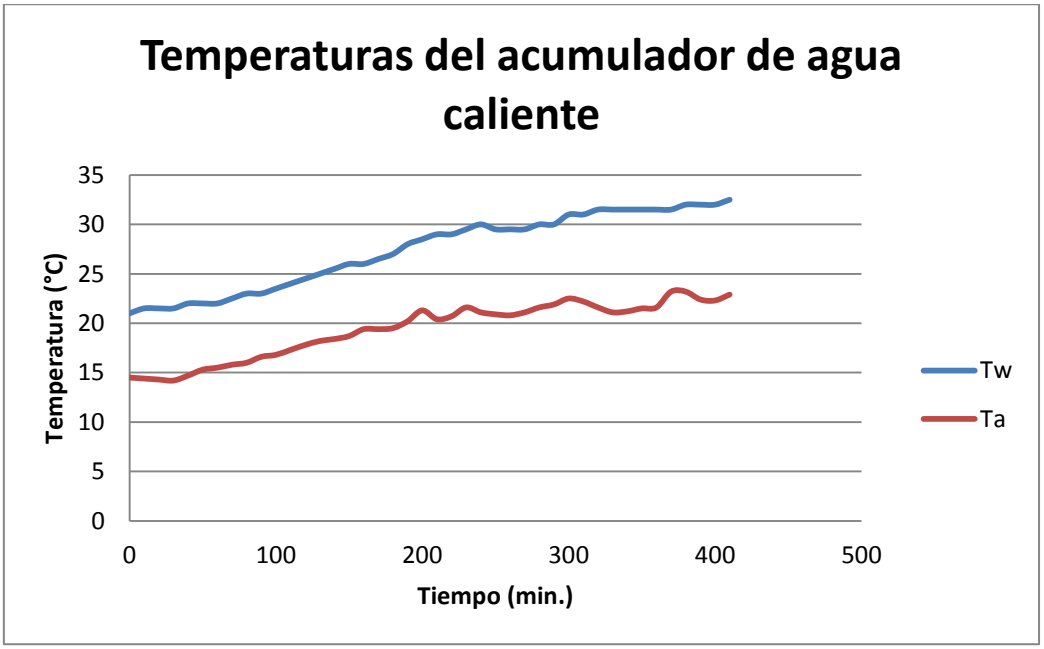

Temperaturas del acumulador de agua caliente
Temperatura (°C)
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
Tw
Ta

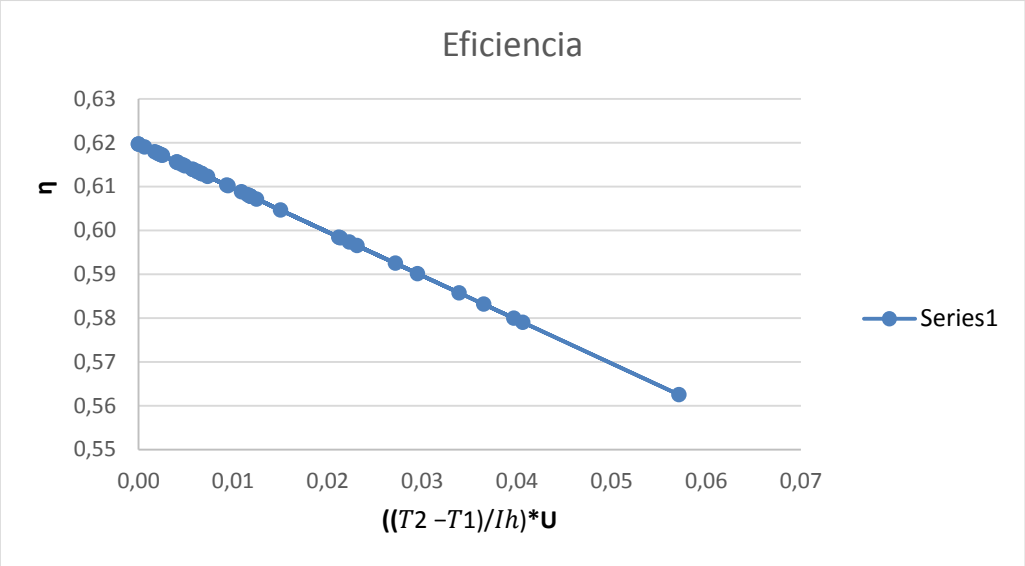

Eficiencia
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
η
0,00
0,10
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
((T2 –T1)/Ih)*U
Series1

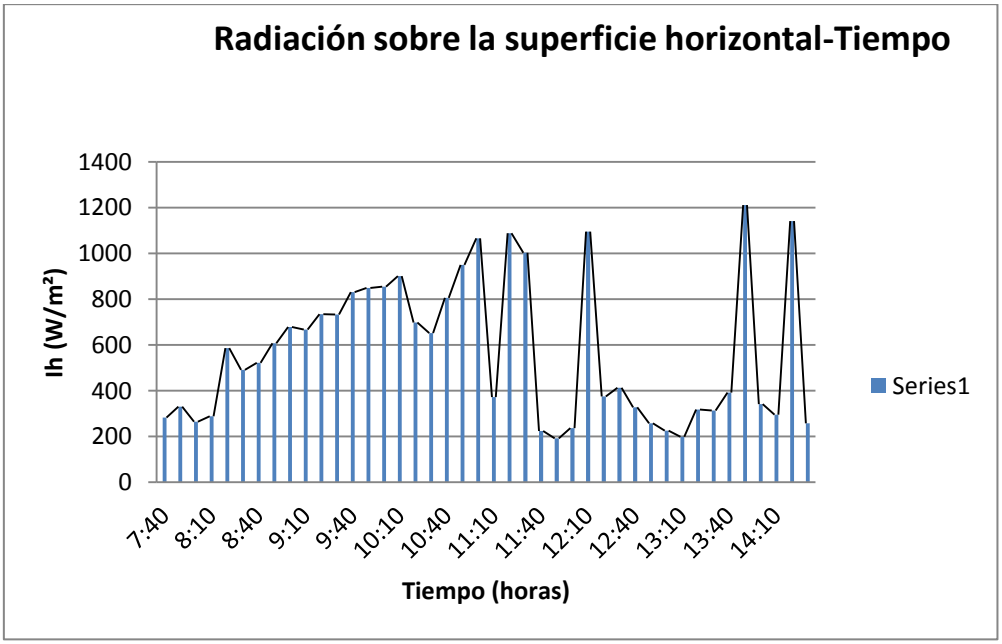

Radiación sobre superficie horizontal-Tiempo
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Ih (W/m²)
7:50
8:20
8:50
9:20
9:50
10:20
10:50
11:20
11:50
12:20
12:50
13:20
13:50
14:20
14:50
Tiempo (horas)
Series1

ENSAYO: 11

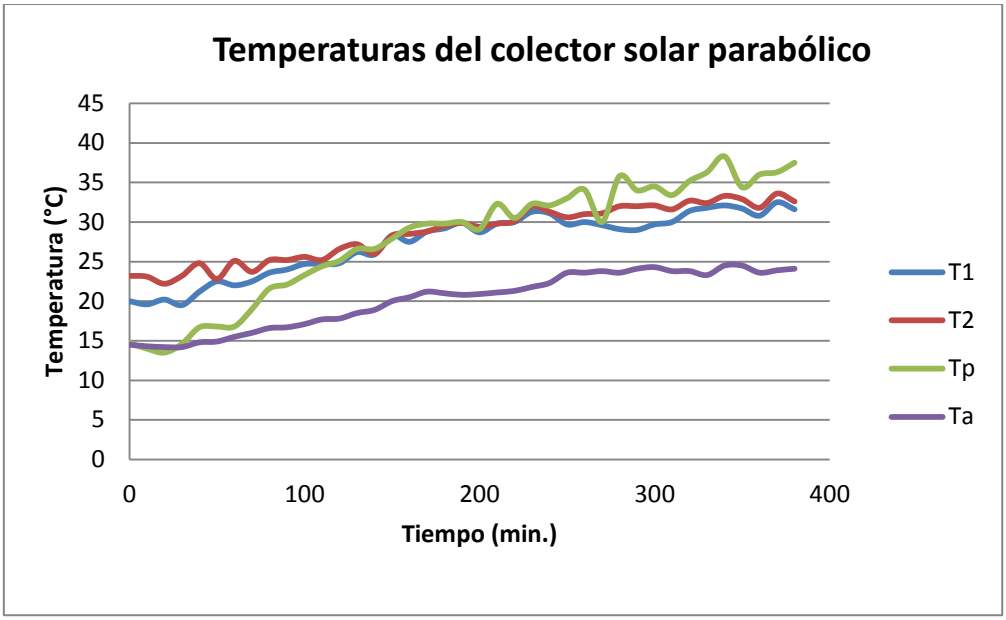

Temperaturas del colector solar parabólico
Temperatura (°C)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
T1
T2
Tp
Ta

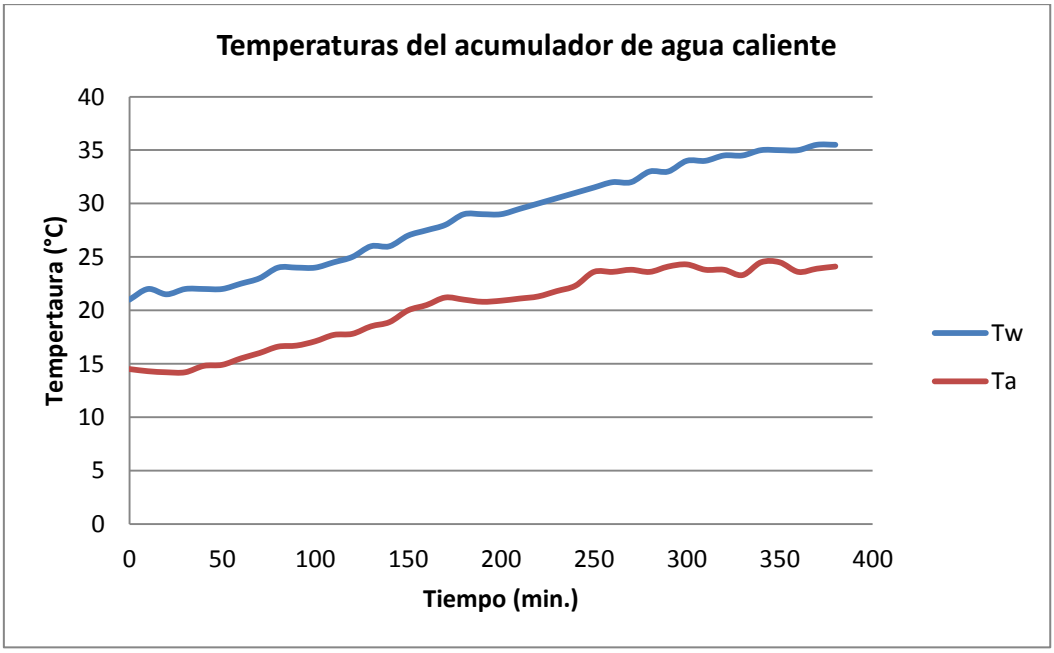

Temperaturas del acumulador de agua caliente
Temperatura (°C)
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
Tw
Ta

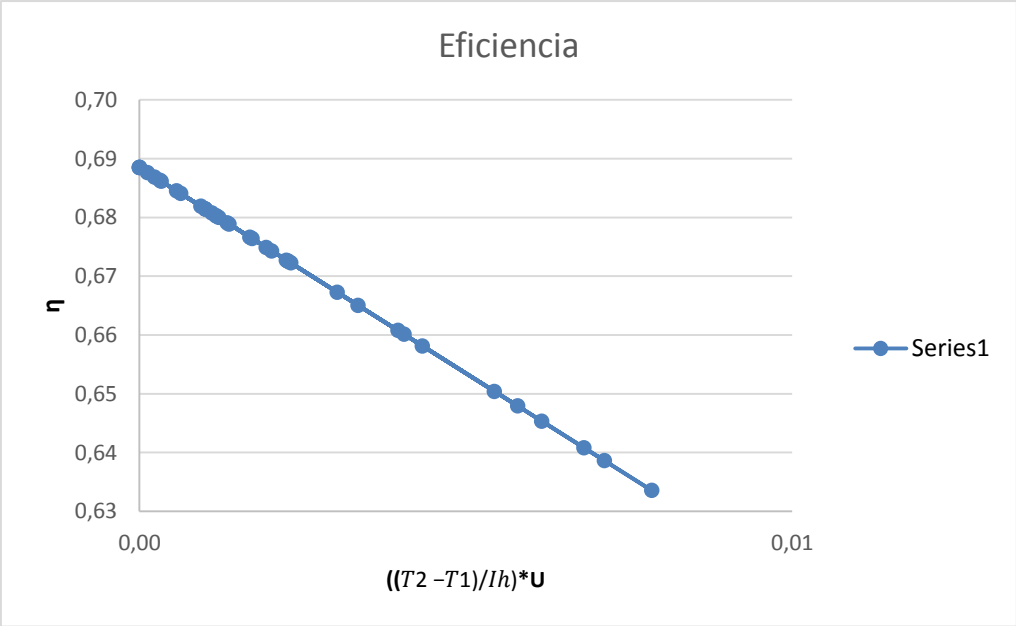

Eficiencia
0,63
0,62
0,61
0,60
0,59
0,58
0,57
0,56
0,55
η
0,00
0,01
0,02
0,03
0,04
0,05
0,06
0,07
((T2 –T1)/Ih)*U
Series1

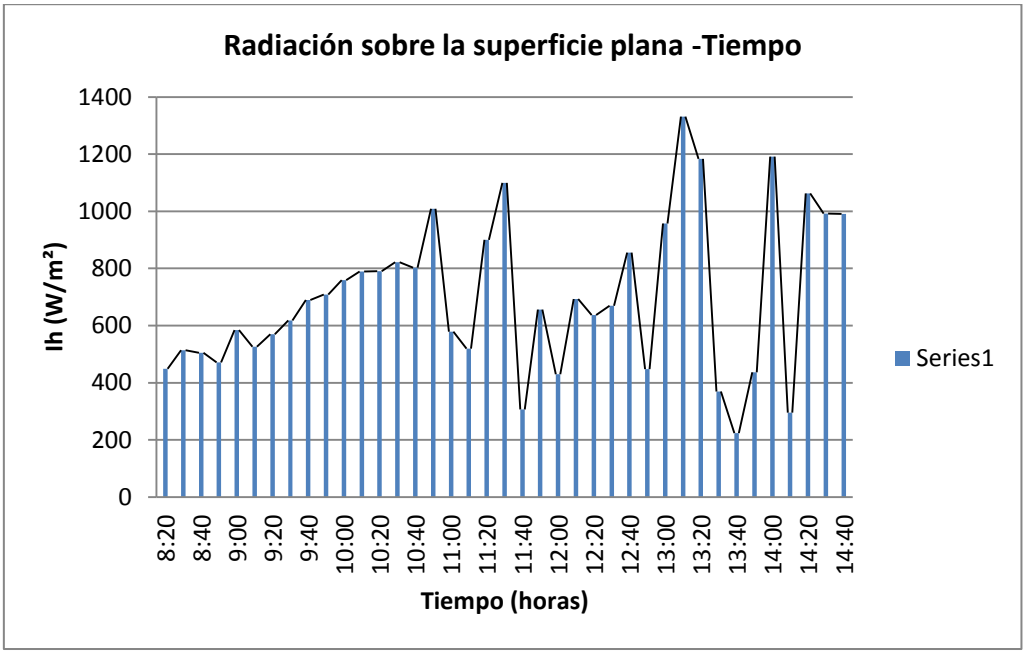

Radiación sobre la superficie horizontal-Tiempo
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Ih (W/m²)
7:40
8:10
8:40
9:10
9:40
10:10
10:40
11:10
11:40
12:10
12:40
13:10
13:40
14:10
Tiempo (horas)
Series1

ENSAYO: 12

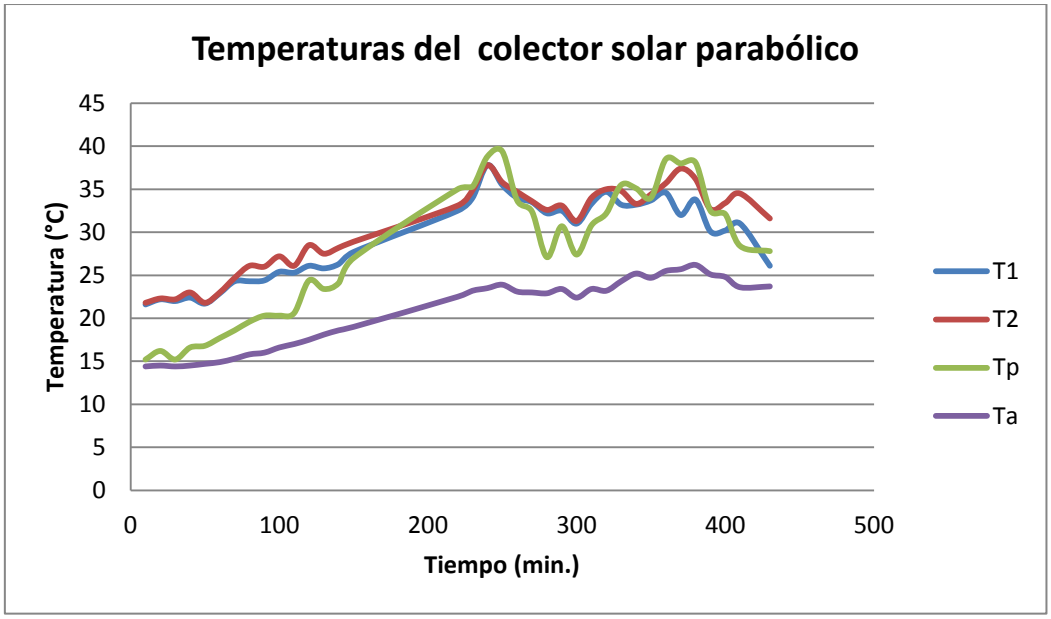

Temperaturas del colector solar parabólico
Temperatura (°C)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
Tiempo (min.)
T1
T2
Tp
Ta

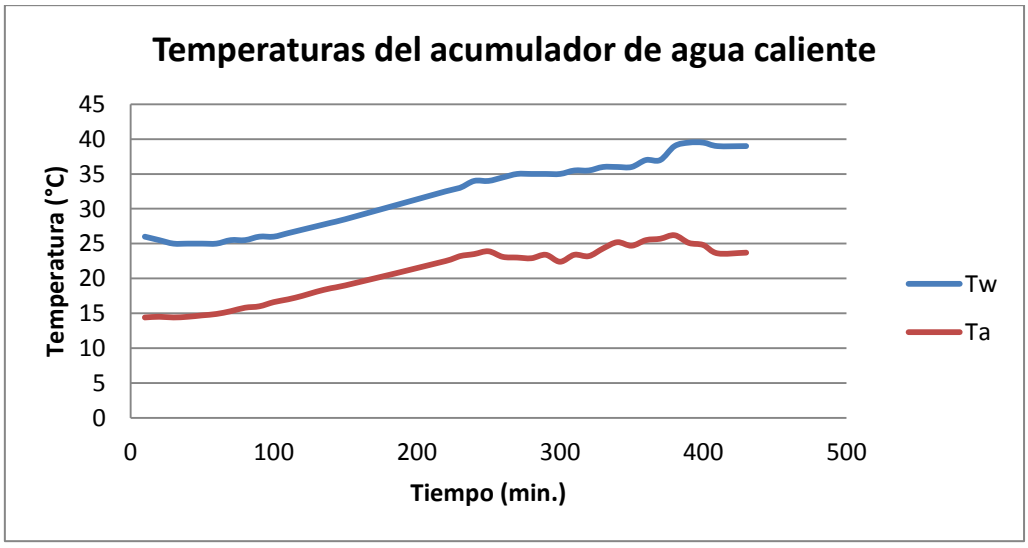

Temperaturas del acumulador de agua caliente
Tempertaura (°C)
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
50
100
150
200
250
300
350
400
Tiempo (min.)
Tw
Ta

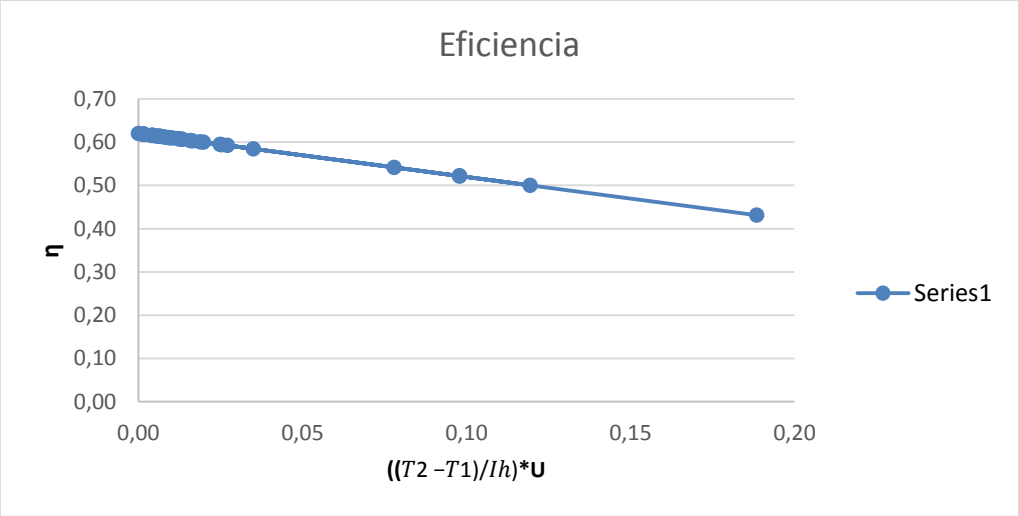

Eficiencia
0,70
0,69
0,68
0,67
0,66
0,65
0,64
0,63
η
0,00
0,01
((T2 −T1)/Ih)*U
Series1

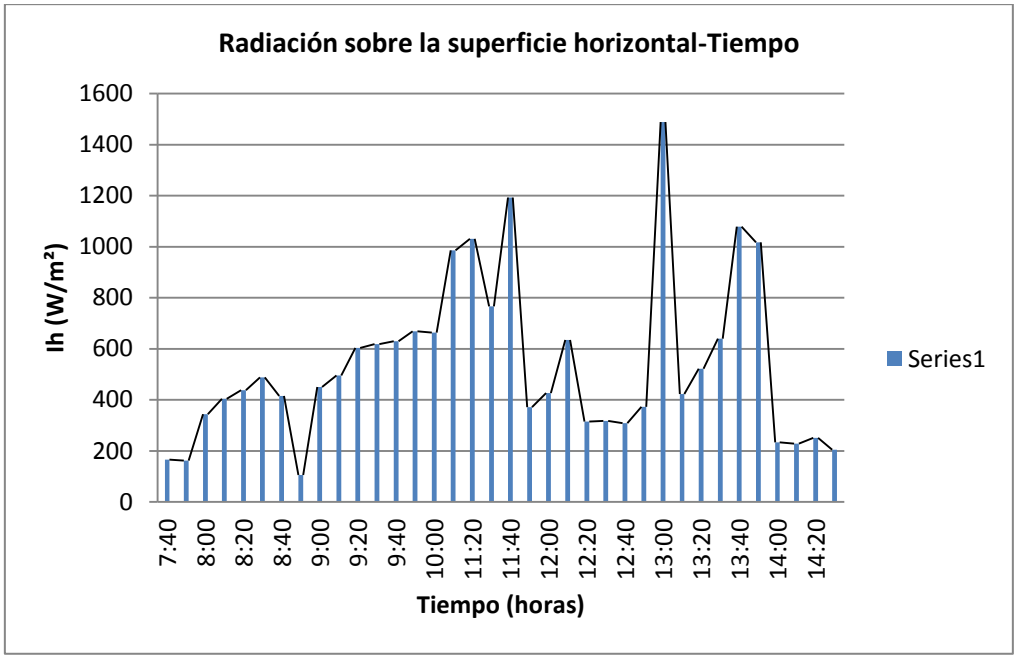

Radiación sobre la superficie plana -Tiempo
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Ih (W/m²)
8:20
8:40
9:00
9:20
9:40
10:00
10:20
10:40
11:00
11:20
11:40
12:00
12:20
12:40
13:00
13:20
13:40
14:00
14:20
14:40
Tiempo (horas)
Series1

ENSAYO: 13


Temperaturas del colector solar parabólico
Temperatura (°C)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
T1
T2
Tp
Ta


Temperaturas del acumulador de agua caliente
Temperatura (°C)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
100
200
300
400
500
Tiempo (min.)
Tw
Ta


Eficiencia
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
η
0,00
0,05
0,10
0,15
0,20
((T2 –T1)/Ih)*U
Series1


Radiación sobre la superficie horizontal-Tiempo
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Ih (W/m²)
7:40
8:00
8:20
8:40
9:00
9:20
9:40
10:00
11:20
11:40
12:00
12:20
12:40
13:00
13:20
13:40
14:00
14:20
Tiempo (horas)
Series1