

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE ENERGÍA PRODUCIDA POR UN COLECTOR SOLAR PLANO”

Chipugsi Calero Freddy Julián
chipi_fredd@hotmail.com

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, Carrera de Ingeniería Electromecánica
Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez
Cotopaxi – Ecuador

RESUMEN:

El presente trabajo fue desarrollado para monitorear la energía térmica que se produce en un sistema de calentamiento de agua por energía solar. El sistema está compuesto por un colector solar plano, un tanque de acumulación y sistemas de accesorios necesarios para su instalación. En el sistema se implementó dos sensores de temperatura que miden la temperatura del agua de avance y de retorno y un medidor de caudal instalados en lugares estratégicos. Las señales obtenidas por estos sensores son acondicionadas previamente para ingresar a una tarjeta de adquisición de datos y mediante el software LabVIEW se procede a realizar el tratamiento de señales y su posterior análisis presentando en las pantallas respectivas. El proyecto implementado cuenta un programa que permite realizar tres aplicaciones de medición y monitoreo de la energía térmica según la aplicación didáctica que se desee desarrollar. La primera monitorea la energía producida por el colector estando circulando un caudal regulado previamente y que ingresa desde la red de agua. La segunda aplicación permite cuantificar la energía disponible en el tanque acumulador luego que el fluido adquirió calor en un determinado tiempo y la tercera aplicación cuantifica la energía que se va acumulando en el tanque acumulador estado recirculando el agua por el colector.

ABSTRACT:

This paper was developed to monitor the thermal energy produced in a system of water heating by solar energy. The system consists of a flat solar collector, storage tank systems and accessories needed for their installation. In the system two temperature sensors that measure water temperature and flow and return flow meter installed at strategic locations was implemented. The signals obtained by these sensors are preconditioned to enter a data acquisition card and LabVIEW software using the proceeds to perform signal processing and subsequent analysis presented in the respective screens. The project has implemented a program that allows three applications of measuring and monitoring the thermal energy according to the didactic

application to be developed. The first monitors the energy produced by the collector previously regulated flow rate entering the water system from being circulated. The second application quantifies the energy available in the storage tank after the fluid heat acquired in a specific time and the third application quantifies the energy is accumulated in the accumulator tank state recirculating water through the collector.

I.- INTRODUCCIÓN.

El Sol es la principal fuente de energía del planeta. Mediante la radiación de su energía electromagnética aporta directa o indirectamente toda la energía que mantiene la vida en la Tierra. El primer colector solar plano fue fabricado por el suizo Nicholas de Saussure (1740-1799), y estaba compuesto por una cubierta de vidrio y una placa metálica negra encerrada en una caja con su correspondiente aislamiento térmico. Este colector solar se utilizó para cocinar alimentos que se introducían en su interior.

La recogida directa de energía solar requiere dispositivos artificiales llamados colectores solares, diseñados para recoger energía, a veces después de concentrar los rayos del Sol. Los colectores solares pueden ser de dos tipos principales: los de placa plana y los de concentración.

Los colectores de placa plana se han usado de forma eficaz para calentar agua y para calefacción. Los sistemas típicos para casa-habitación emplean colectores fijos, montados sobre el tejado. En el hemisferio norte se orientan hacia el Sur y en el hemisferio sur hacia el Norte. El ángulo de inclinación óptimo para montar los colectores depende de la latitud.

II.- FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. COLECTORES SOLARES

Los colectores solares aprovechan la radiación del Sol para producir energía solar térmica que puede usarse en el calentamiento de agua destinada al consumo doméstico, agua caliente sanitaria, calefacción, etc., o para producción de energía mecánica y, a partir ella electricidad.

2.2. CONCEPTOS PREVIOS

2.2.1. RADIACIÓN SOLAR

La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por la porción de luz que emite el Sol y que es interceptada por la Tierra.

La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, considerando la distancia promedio entre la Tierra y el Sol, se llama constante solar, y su valor medio es 1353 W/m^2 , la cual varía en un 0,2% en un período de 30 años. La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar, siendo alrededor de 1000 W/m^2 , debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera. Esta porción de energía se conoce como radiación directa [1].

2.2.2. IRRADIACIÓN Solar

Al estar atravesado por la Línea Equinoccial, el Ecuador tiene poca variabilidad en la posición del sol durante todo el año lo cual favorece la aplicación de la energía solar. El CONELEC contrató en el año 2008 la elaboración del Mapa Solar del Ecuador, según este mapa el valor de insolación o radiación solar global para la provincia de Cotopaxi (Zona 4), y la ciudad Latacunga es de $4,42 \text{ KWH/m}^2 \cdot \text{día}$, mientras que para superficie inclinada de 10° orientados al norte, el valor promedio anual es $4,26 \text{ KWH/m}^2 \cdot \text{día}$ [2]

2.3. DEFINICIÓN DE UN COLECTOR SOLAR

El colector se compone de cañerías de cobre unidas entre sí a través de canales paralelos de menor diámetro. Para obtener un óptimo rendimiento se apoya el conjunto sobre una lámina de cobre ennegrecida, que sirve para absorber la energía. Se estima que un acumulador de 200 litros, con una superficie de 4 metros cuadrados de placas solares, puede suministrar agua caliente a una familia de cuatro personas. La energía solar fotovoltaica es una gran salida para el abastecimiento de electricidad en zonas donde el suministro eléctrico no llega, como por ejemplo zonas rurales, o en embarcaciones [3].

2.4. TIPOS DE COLECTORES SOLARES

Los colectores solares se dividen en dos grandes grupos:

- a. Los Colectores Solares sin concentración:
Los cuales no superan los 70°C aproximadamente, por lo que son usados en las aplicaciones de la energía solar térmica de baja temperatura. Un ejemplo de aplicación sería la producción de agua caliente sanitaria.
- b. Los Colectores Solares de Concentración:
Los cuales, haciendo uso de los métodos de concentración, de la óptica, son capaces de elevar la temperatura de fluido a más de 70°C . Estos se aplican en la energía solar térmica de media y alta temperatura [4].

2.5. COLECTORES SOLARES PLANOS

La inmensa mayoría de los captadores solares planos disponibles a la venta tiene una cubierta transparente, de material aislante térmico en la parte posterior y en los laterales, de un absorbedor metálico y de una carcasa exterior rectangular donde se ubican los elementos anteriores. Posee dos o cuatro conexiones hidráulicas, que se sitúan en el exterior. Estas son por las que entran y sale el fluido [3].

2.6. COLECTORES PLANOS PROTEGIDOS

Son los más utilizados por tener la relación coste-producción de calor más favorable. En ellos, el captador se ubica en una caja rectangular (Figura N° 1), cuyas dimensiones habituales oscilan entre los 80 y 120cm de ancho, los 150 y 200cm de alto, y los 5 y 10cm de espesor (si bien existen modelos más grandes). La cara expuesta al sol está cubierta por un vidrio muy fino, mientras que las cinco caras restantes son opacas y están aisladas térmicamente.

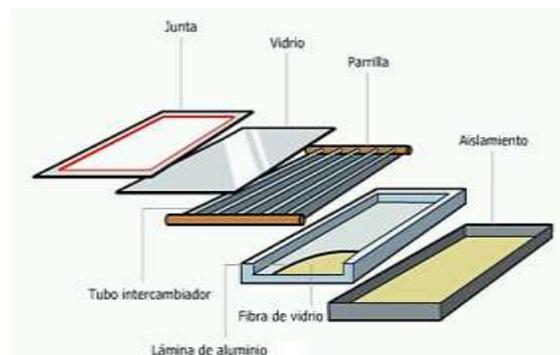


Figura N° 1. Colector plano protegido

Fuente: CLEANERYSOLAR - Energía Solar Térmica – Tutorial [5]

2.7. COLECTORES PLANOS NO PROTEGIDOS

Son una variante económica de los anteriores donde se elimina el vidrio protector, dejando la placa expuesta directamente al ambiente exterior. Carecen también de aislamiento perimetral.

2.8. FUNCIONAMIENTO DE LOS COLECTORES SOLARES PLANOS

Los colectores solares planos funcionan aprovechando el efecto invernadero el mismo principio que se puede experimentar al entrar en un coche aparcado al sol en verano. El vidrio actúa como filtro para ciertas longitudes de onda de la luz solar: deja pasar fundamentalmente la luz visible, y es menos transparente a las ondas infrarrojas de menor energía.

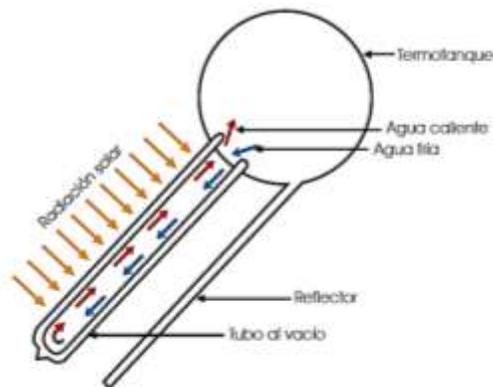


Figura N° 2. Funcionamiento de un Colector Solar

Fuente:

<http://www.funcosa.com.mx/descargas/catalogos.html> [6]

Para su funcionamiento el calentador solar tiene 4 componentes básicos: colector, contenedor (tanque de almacenamiento), sistema y sustancia de trabajo.

2.8.1. COLECTOR

También llamado captador solar o panel termo-solar. Es el componente que se encarga de transferir la energía solar al agua. Consiste en un arreglo de tuberías o conductos por donde fluye el agua.

2.8.2. CONTENEDOR

Es el recipiente de almacenamiento del fluido. Se conecta con la entrada y la salida del colector. Durante el día, el agua se recircula una y otra vez entre el colector y el contenedor. Después de un tiempo y dependiendo de las dimensiones de los

componentes, el agua se calentará para su uso posterior. La energía capturada en el colector se guarda en el tanque en forma de agua caliente. En el momento de requerir agua, se extrae del tanque y se rellena con agua fría.

2.8.3. SISTEMA

El sistema son todas las tuberías, bombas, sistemas de control, llaves de paso, y accesorios con las que cuenta el calentador solar. Conecta por medio de tuberías el colector con el contenedor, así como también el calentador con las tuberías de una casa.

2.8.4. SUBSTANCIA DE TRABAJO

Si la circulación es directa, se emplea agua potable; la misma que se utilizará en regaderas, lavabos, lavadoras, albercas, etc. En este caso, el agua se hace pasar por el colector para ser guardada en el contenedor. Si se utiliza circulación indirecta existen dos circuitos: uno con agua potable para el consumo, y otro con un fluido calo-portador, que usualmente es agua o una mezcla de agua y glicol.

2.8. APLICACIONES

- Preparación de agua caliente para usos sanitarios
- Climatización de piscinas
- Calefacción

Tanto a nivel doméstico como industrial.

El uso de paneles solares térmicos es particularmente adecuado para la climatización de piscinas, pues la baja temperatura de trabajo requerida permite incluso tipologías de colectores sin vidrio protector, lo que abarata enormemente tanto los costes como el impacto ambiental de la instalación.

2.9. SELECCIÓN DE COLECTORES SOLARES PLANOS PARA CALENTAR AGUA

Los colectores solares se seleccionan de acuerdo a varias especificaciones, entre las cuales podemos mencionar principalmente el tipo de circulación del fluido caloportante, el área de trabajo y su costo.

El colector seleccionado para el estudio de la energía producida por el mismo, es el colector solar plano de circulación por termosifón.

2.10. EFICIENCIA DE UN COLECTOR SOLAR

La eficiencia del colector está dada por el cociente entre la energía adquirida por el fluido en su paso por el colector y la energía total solar disponible en el área del colector.

2.11. MEDIDORES DE ENERGÍA TÉRMICA.

Todos los medidores de energía térmica para colectores solares planos usan el mismo principio, estos constan de un contador de caudal (caudalímetro) que registra de manera continua el paso de agua de la instalación, de dos sondas de temperatura que miden la diferencia entre las temperaturas del agua de impulsión y retorno del circuito de climatización y de un sistema electrónico que integra en el tiempo la energía consumida en la vivienda o local.

Se calcula la energía según la formula dada en la norma EN 1434-1

$$\text{Energía} = V * \Delta\theta * k$$

Dónde:

V = es el volumen de agua suministrado [Kg].

$\Delta\theta$ = es la diferencia de temperatura medida (salto térmico) [°K].

k = es el cociente térmico del agua (4,18 [KJ/(Kg °K)]).

III.- DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA

Las variables que tendrán nuestro sistema serán los cambios de temperatura tanto en la entrada como en la salida del colector de placa plana, y el caudal que circulara dentro del sistema de calentamiento de agua.

3.1. SELECCIÓN DEL COLECTOR SOLAR Y DE LOS DISPOSITIVOS A USAR PARA EL SISTEMA DE MONITOREO.

El Calentador Solar seleccionado es el de Placa Plana, el cual no necesita de mayor mantenimiento y está de acuerdo con el presupuesto.

El Monitoreo se dará gracias a un Sistema de Adquisición de Datos, el cual usará una tarjeta DAQ y el software LabVIEW.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL COLECTOR SOLAR PLANO.

En el capítulo II, se presentó cada una de las partes constituyentes de un calentador de agua

solar. Ahora veremos más puntualmente las características de estos equipos; efectivamente de los seleccionados para la implementación del proyecto.

3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Para el sistema de adquisición de datos se usará dos sensores Pt-1000 los mismos que son seleccionados para la medición de temperatura y un caudalímetro RESOL V40-0.6. También usaremos una tarjeta de adquisición de datos DAQ y el software LabView.

3.4. DIAGRAMA DE BLOQUE

A continuación en la Figura N° 3., se muestra el diagrama de bloque a seguir para el Sistema de Adquisición de Datos.

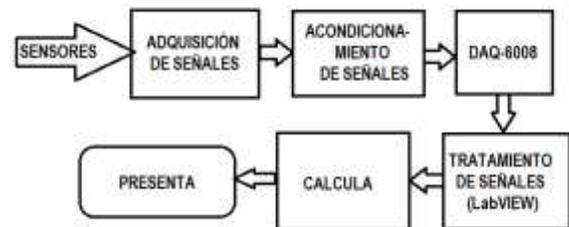


Figura N° 3. Diagrama de Bloque

Elaborado por: Freddy Chipugsi

IV.- IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

En el presente capítulo se mostrará los diferentes diagramas de conexiones, tanto de grifería como de conexiones eléctricas para la implementación y pruebas de las aplicaciones que el sistema de adquisición de datos de la energía producida por un colector solar plano.

Muestra los datos obtenidos de la matriz de verificación inicial levantada en los laboratorios, las encuestas de Suficiencia y Funcionalidad que la Institución maneja y las realizan los laboratoristas dentro de su administración.

4.1 CONEXIONES DE GRIFERÍA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA.

Aquí muestra el plano de la instalación y la disposición de cada una de las válvulas así como también las medidas de la tubería usadas en cada tramo de conexión.

Siempre será necesario comprobar que no exista ningún tipo de fuga antes de realizar cualquiera de las aplicaciones mencionadas anteriormente para así evitar pérdidas de caudal y

consecuentemente datos incorrectos en la adquisición de los mismos.

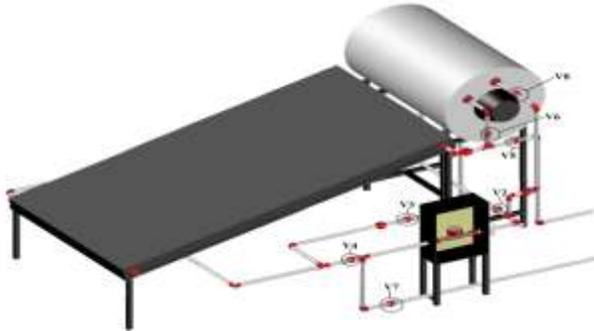


Figura N° 4. Diagrama de Conexión de la Grifería

Elaborado por: Freddy Chipugsi

4.2. DIAGRAMA DE CONEXIONES ELÉCTRICAS

En el diagrama mostrado a continuación se presenta la conexión de los sensores a cada una de las entradas de los acondicionamientos y la conexión de la tarjeta de adquisición de datos DAQ-6008.

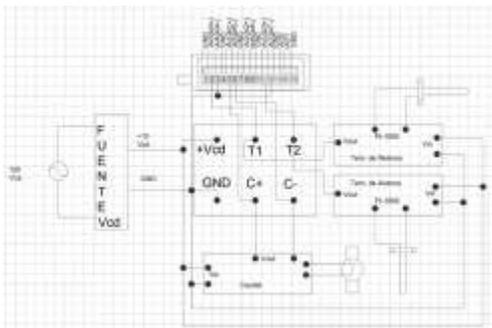


Figura N° 5 Diagrama Eléctrico

Elaborado por: Freddy Chipugsi

Las entradas análogas usadas para la adquisición de datos son: AI0, AI1 y AI3 en modo diferencial.

4.3. IMPLEMENTACIÓN DEL HMI

Dentro de la implementación del HMI están la conexión de las entradas físicas de cada una de las señales entregadas por los sensores usados. La conexión de estos sensores ira hacia la tarjeta de adquisición de datos DAQ-6008, en el capítulo III se mostró la configuración de cada una de estas entradas.

En la Figura N° 6 se muestra un ejemplo de la conexión de los sensores a cada una de las entradas análogas de nuestra tarjeta.

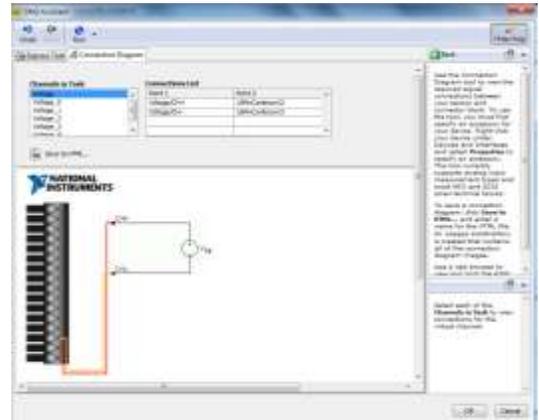


Figura N° 6. Conexión de la entrada a DAQ-6008

Elaborado por: Freddy Chipugsi

4.5. PRUEBAS

Cada una de las siguientes pruebas fue realizada en días diferentes con el fin de tener medidas exactas y concretas para cada caso, (Manual de Operaciones).

Antes de iniciar con las pruebas es necesario conocer la disposición de las válvulas en el sistema de calentamiento de agua. Para cada una de las aplicaciones generadas en el HMI es necesaria una configuración diferente, para que se obtengan buenos resultados de cada prueba se debe prestar atención a la disposición correcta de cada una de las válvulas antes de iniciar con la aplicación.

Las pruebas a realizar son:

- Medición de la energía instantánea generada por el colector solar plano.
- Medición de la energía acumulada en el tanque de almacenamiento.
- Medición de la energía generada y almacenada en el Termotanque.

4.5.1. Medición de la energía instantánea generada por el colector, sin la conexión o uso del tanque de almacenamiento.

El objetivo de esta práctica es realizar la cuantificación de la energía producida por el colector solar plano sin la presencia del termotanque,

ANÁLISIS DE DATOS ADQUIRIDOS EN LA APLICACIÓN 1.

Para esta prueba se procedió hacer circular agua por el colector a un caudal promedio de 4 litros por minuto, y se determinó la energía para el volumen de 28 litros en las condiciones climatológicas de ese periodo.

La energía total medida por el sistema durante la prueba llegó a ser de 779.73 KJ equivalente a 0.22 KW-h.

La temperatura promedio de avance del sistema es de 17.09 °C y la temperatura promedio de retorno es de 22.59 °C lo que nos indica que el colector nos dio un salto térmico promedio de 6.6 °C.

4.5.2. Medición de la energía acumulada en el tanque de almacenamiento.

En esta aplicación se pretende estudiar la energía producida por el colector solar plano y acumulado en el tanque de almacenamiento durante un período de tiempo.

ANÁLISIS DE DATOS ADQUIRIDOS EN LA APLICACIÓN 2.

Con las mediciones obtenidas en esta prueba se determinó que la energía acumulada en el tanque durante el periodo de prueba fue de 13169.3 KJ que equivale a 3.658 KW-h.

Se puede apreciar claramente que el Termotanque va perdiendo calor durante la aplicación, esto se debe a que el colector no está conectado al tanque. La aplicación o la prueba la hemos finalizado después de notar que la temperatura de salida del tanque es igual o menor a la temperatura promedio de entrada del sistema,

En la curva de energía también se puede notar que tenemos una constante de ganancia de energía bastante alta hasta llegar a los 90 litros de caudal másico, después de este volumen de caudal la energía entregada empieza a decrecer hasta llegar a cero debido a que está ingresando agua desde la red.

Como parte final del análisis debemos mencionar que la temperatura promedio de salida del fluido fue de 34.31 °C, temperatura adecuada para cualquier uso doméstico o sanitario.

4.5.3. Medición de la energía generada por el colector solar y almacenado en el Termotanque.

En esta aplicación se pretende analizar la energía producida por el colector y acumulada en el tanque de almacenamiento durante un período de tiempo. El sistema de calentamiento de agua estará cerrado, solo existirá circulación de caudal dentro del sistema. Aquí visualizaremos los datos obtenidos con la Aplicación 3 y realizamos el análisis concreto de esta.

ANÁLISIS DE DATOS ADQUIRIDOS EN LA APLICACIÓN 3.

Al funcionar el sistema mediante el principio de termosifón, el fluido recirculará solo por la diferencia de densidades producida por el agua fría a caliente, el caudal total que recirculara en el sistema será bajo.

La diferencia de temperatura o salto térmico promedio producido entre el avance y retorno es de 39 °C aproximadamente, que representa una ganancia de calor sumamente grande. Esto nos hace notar que el recirculamiento de fluido en el sistema durante un periodo de tiempo ayuda a obtener una mejor producción de energía térmica.

V- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES:

- La energía solar como fuente principal de vida del planeta puede ser aprovechada directamente por los colectores solares planos, los cuales aprovechan el efecto invernadero para calentar agua para uso doméstico o industrial.
- Los sistemas de medición de energía térmica requieren para su operación la medición de caudal, la medición del salto térmico entre la entrada y salida del agua y un sistema electrónico que registra la energía. Para nuestra aplicación la medición de caudal se efectuó con el caudalímetro RESOL modelo V40-06, el salto térmico se determinó con dos sondas Pt-1000 y la determinación de la energía una tarjeta DAQ y el programa desarrollado en LabVIEW.
- Se consiguió el principal y fundamental objetivo del proyecto que fue el diseñar e implementar un sistema para el monitoreo y cuantificación de energía térmica y que se encuentra instalado en un sistema de calentamiento de agua por energía solar.
- En el programa desarrollado en LabVIEW se diseñó tres opciones para el cálculo de la energía. La primera de estas nos permite cuantificar la energía producida por el sistema sin almacenamiento del agua circulante. La segunda opción nos permite cuantificar la energía almacenada en el tanque durante un período de trabajo continuo y la tercera opción nos permite cuantificar la energía producida al trabajar con el agua en recirculación.

2. RECOMENDACIONES:

- Cuando se desee poner en marcha cada una de las aplicaciones para la medición de la energía térmica entregada por el sistema de calentamiento de agua poner especial cuidado en la disposición de las válvulas, las mismas que son indicadas en el capítulo IV y también mostradas en las ventanas de diálogo de cada una de las aplicaciones.
- Seguir cada uno de los pasos dados en el proyecto para la instalación y conexión de la tarjeta de adquisición de datos DAQ, que es lo principal en el desarrollo de cualquiera de las pruebas o aplicaciones que se quiera realizar.
- El lugar de ubicación del medidor de caudal debe ser en posición horizontal y en un lugar cerrado debido a que puede sufrir daños por su grado de protección.
- El sistema implementado, es un módulo didáctico creado para la realización de prácticas con los estudiantes por lo que se recomienda seguir el manual de operación provisto para su funcionamiento.
- El uso y mantenimiento necesario para el sistema de calentamiento de agua resulta poco complejo para el usuario, ya que viene a ser un sistema totalmente independiente después de su correcta instalación sin embargo, se recomienda realizar una revisión periódica de las conexiones de grifería.
- En el sector industrial gran parte de la energía primaria consumida se destina al calentamiento de fluidos, como agua caliente, vapor o aceite térmico, en calderas cuyos rendimientos energéticos son de vital importancia por lo que se recomienda continuar la temática de la energía térmica de dichos sectores.

VI.- REFERENCIAS

- [1] S. G. Vásquez, TEORÍA PARA EL DISEÑO DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA, Lima, 2003.
- [2] C. E. E. C. C. E. LA, ENERGÍA RENOVABLE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR PARA USO SANITARIO EN EL ECUADOR, 2011.
- [3] R. Q. Piña, Replanteo de instalaciones solares térmicas, INNOVA, 2011.
- [4] ©. S. Energy, «Energía Solar,» © Striatum Energy, 2010. [En línea]. Available: <http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulo>

senergia/11_Coletores_solares.html. [Último acceso: 12 Noviembre 2013].

- [5] S. E. S.A., MANUAL TÉCNICO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA., 2011.
- [6] F. S. d. C.V., «FUNCOSA,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.funcosa.com.mx/descargas/catalogos.html>. [Último acceso: 14 Agosto 2013].
- [7] N. I. Corporation, «National Instruments Corporation,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>. [Último acceso: 13 Enero 2014].
- [8] N. I. Corporation, «National Instruments Corporation,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/labview/esa/>. [Último acceso: 15 Febrero 2014].

VII BIBLIOGRAFIA



**Freddy Julián
Chipugsi Calero,
nació en Pujilí -
Cotopaxi.**

Curso sus estudios de bachillerato en el Colegio Nacional Experimental Provincia de Cotopaxi, en donde obtuvo el título de Bachiller en Ciencias especialidad Físico - Matemático. Sus estudios superiores los realizó en la Universidad de las fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, en donde obtuvo el Título de Ingeniero en Electromecánica en Agosto del 2014 en la ciudad de Latacunga.