



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
WEB SERVER PARA EL MONITOREO Y BALANCE
ENERGÉTICO EN UN COLECTOR SOLAR PLANO.

AUTOR: CARLOS PATRICIO SAILEMA MORETA

JULIO,2018



OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema Web Server para el monitoreo y análisis de balance energético en un colector solar plano.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar y determinar los tipos de variables de temperatura, caudal y radiación que hay en un colector solar plano para para su posterior adquisición de sensores e implementación.
- Diseñar un sistema web server en el colector solar plano que permita el monitoreo y almacenamiento de datos en la red.
- Realizar la programación para la visualización de datos en la página web.
- Realizar el balance energético en base a los datos medidos y estos permitan determinar su rendimiento.



HIPÓTESIS

Con el desarrollo de un sistema de monitoreo en web server se podrá monitorear las variables de temperatura, caudal y radiación solar de un colector solar por medio de la web a través de una dirección IP para realizar el análisis de balance energético.

VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Variable independiente: Diseñar e implementar un sistema web server para el monitoreo de variables.

Variable dependiente: Monitoreo y balance energético en base a las variables de temperatura, caudal y radiación en un colector solar plano.

.



Colector solar plano

Un captador solar plano es el más común de los colectores solares para sistemas de calentadores de agua en hogares y también como sistemas de calefacción. Un captador solar plano no es nada más que una caja metálica aislada con una cubierta de vidrio o de plástico llamada acristalamiento y un plato absorbente de color oscuro. Este tipo de colectores alcanzan la temperatura promedio de 80° C.

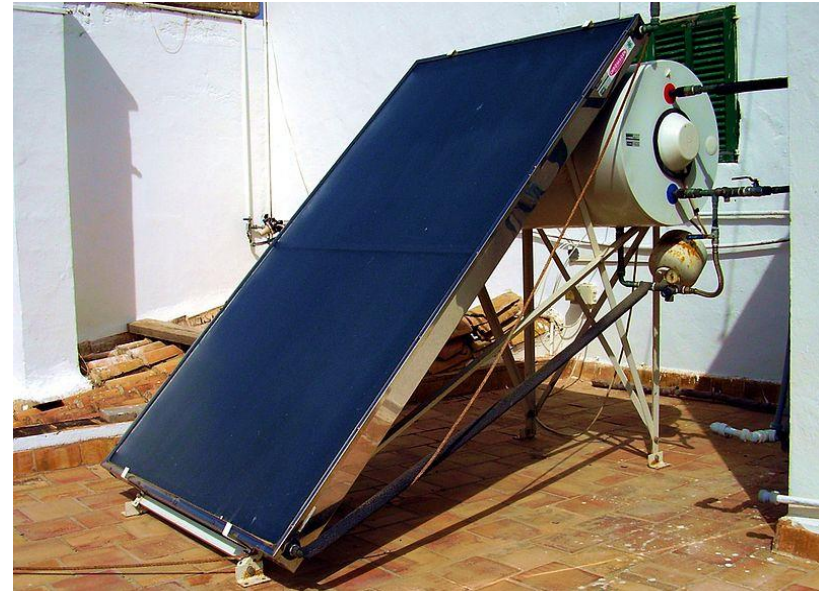
Los colectores solares pueden dividirse de la siguiente manera:

- Colector solar plano protegido
- Colector solar plano no protegido
- Tubos de vacío



Colector solar plano protegido

- Son los más utilizados en el medio comercial por tener una favorable relación en cuanto a su análisis de costo y producción de calor.
- El lado mostrado al sol es protegido por un vidrio resistente de alta duración y los otros lados se encuentran aislados térmicamente
- En el interior de la caja hacia el lado mostrado al sol se ubica una placa metálica que está soldada a varios canales por los cuales circula agua, glicol, o fluido caloportador.
- Para incrementar la absorción de calor la placa se pinta de un color oscuro, de preferencia negro



Colector solar plano no protegido

- Es una opción económica donde el vidrio protector es retirado y dejándolo a la placa expuesta directamente sometida al ambiente exterior.
- Por ser de base simple y de instalación inmediata este tipo de paneles, existen muchas sub variantes tanto en su forma como de los materiales de los cuales están constituidos
- Una manguera simple enrollada y pintada de negro es la esencia de este tipo de colector solar.
- Tiene una eficiencia limitada y se necesita de una superficie mucho más grande para conseguir las prestaciones deseadas.



Tubos de vacío

- Tiene una superficie captadora reducida y a cambio presenta una eficiencia calorífica mayor
- La lámina captadora es colocada en el interior de los tubos de vacío lo cual representa unas pérdidas caloríficas menos significativas.
- Su principio físico es el de los tubos fluorescentes tradicionales solo que son de color oscuro.
- Para formar los paneles los tubos de vacío son colocados en una estructura de peine y las ventajas de este sistema es lo aislados que son, estos equipos son más eficientes colocados en climas fríos o montañosos
- Costo representativo mayor y una resistencia inferior a los golpes o las granizadas.

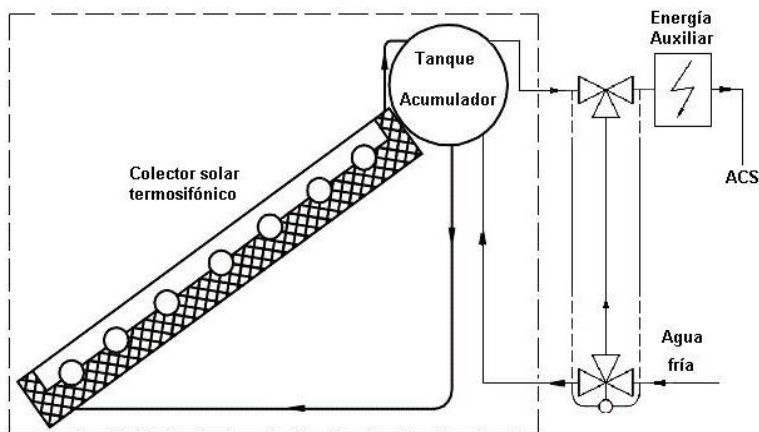


Tipos de colectores solares planos protegidos:

Se dividen en dos grupos, activos y pasivos

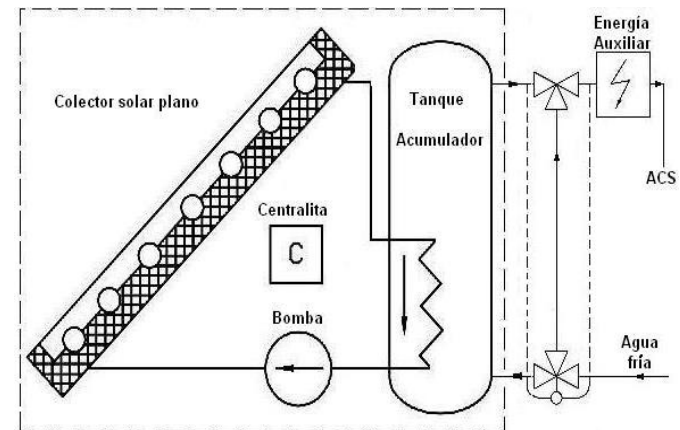
Pasivos

- Indican que no necesitan de una fuente externa para funcionar, el agua se mueve internamente por el principio de convección o termosifón.



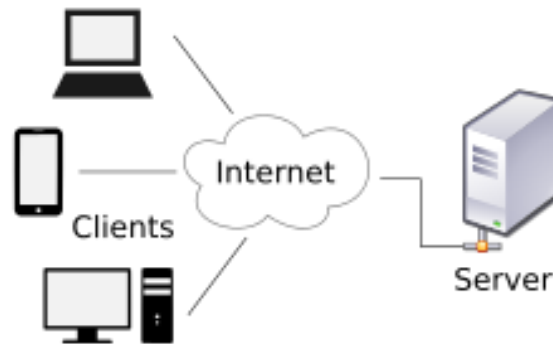
Activos

- Estos requieren de una bomba o alguna forma de energía externa para ayudar con el movimiento cíclico interno del agua



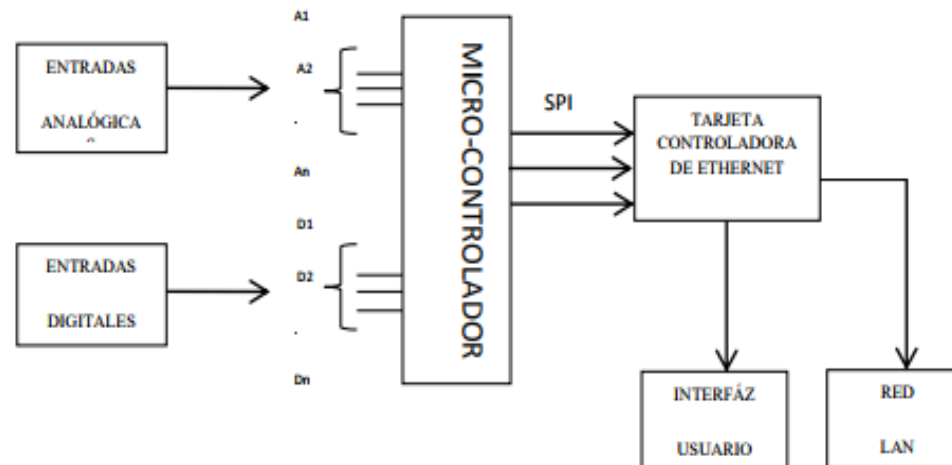
Web Server

- Un sistema web server se utiliza como contenido estático a un navegador, donde se carga un archivo y se lo introduce por medio de la web a cualquier navegador de un usuario donde el cambio de información es realizado entre el servidor y el navegador que se comunican entre sí.



Sistema Web Server

- El sistema da lugar un proceso en tres partes:
- Primero se considera el procesamiento de los datos obtenidos por los sensores en el micro-controlador,
- Esta información es transmitida en una red local la cual necesita una sección para dotar de conectividad al micro-controlador, se utiliza una tarjeta controladora de Ethernet
- Como consideración final se tiene la interfaz con el usuario.



Interfaz de programación de aplicaciones (API)

- Es una interfaz de programación de aplicaciones es una especificación destinada a ser utilizada como interfaz por software y componentes para comunicarse entre ellos.
- Una API puede incluir especificaciones para rutinas, estructuras de datos, clases de objetos y variables.
- Una API específica puede tomar muchas formas, como la API de Microsoft Windows, o las bibliotecas de un lenguaje de programación, dentro de estos objetos están la biblioteca de plantillas estándar en C ++ o API de Java.

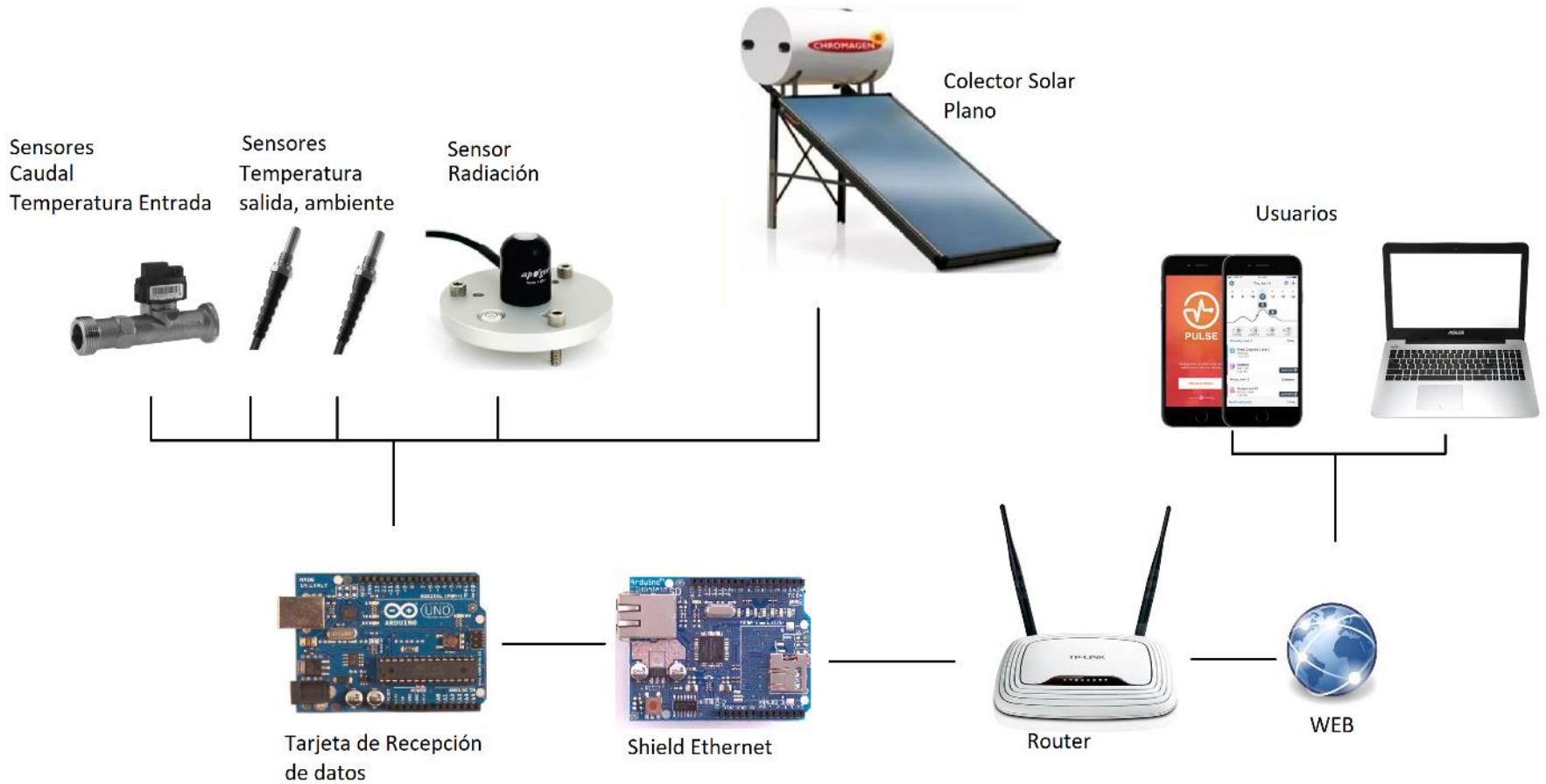


Internet de las Cosas (IOT)

- El internet de las cosas cada vez se ha tornado más relevante en nuestro medio, y esto implica conectar cosas a internet para recuperar información en cualquier momento y desde cualquier lugar.
- Esta información puede ser monitoreada por sensores que intercambian información por medio de la internet.

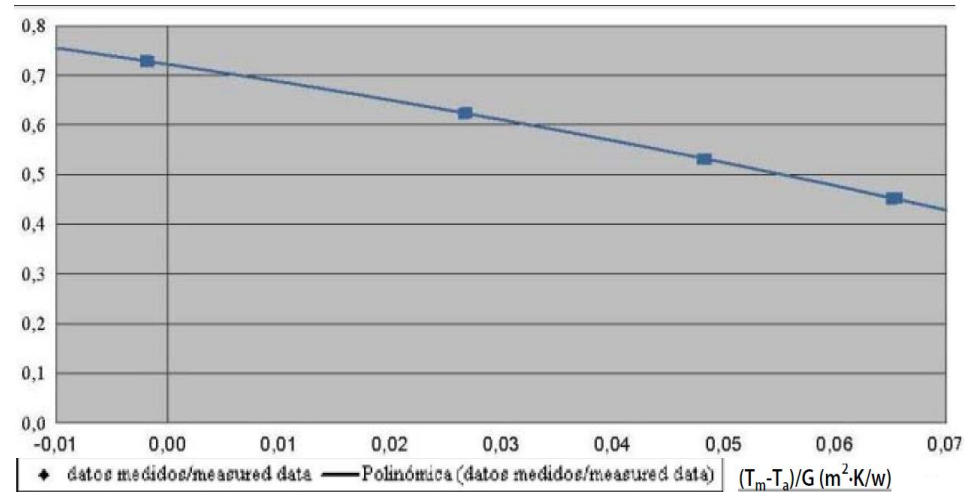


Arquitectura del Proyecto



Características de colector solar plano

- Largo: 1900 mm
 - Ancho: 1090 mm
 - Profundidad: 90 mm
 - Área bruta: 2.10 m²
 - Área de absorberdor: 1.77 m²
 - Abertura de apertura: 1.87 m²
 - Peso en vacío: 31 kg
 - Control de operación: 14 bares
 - Presión de operación: 8 bares
 - Caudal recomendado: 45 lt/h.m²
-
- Coeficiente óptico del captador n_0 : 0.696
 - Coeficientes de pérdidas térmicas
 - k_1 : 4.821 W/m²K
 - k_2 : 0.015 W/m²K



Sensor VFS 1-12 Grundfos

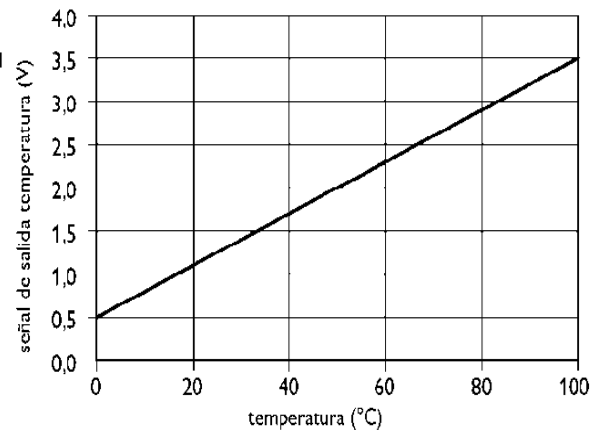
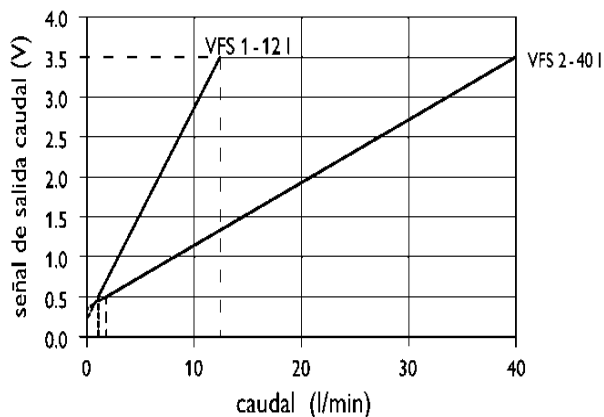
| | |
|---------------------------------|---|
| Equipo | VFS 1-12QT |
| Rango de medición | 1-12 litros/min |
| Tiempo de respuesta | 250 ms |
| Temperatura de operación | 0 a 100C |
| Fuente de Alimentación | 5 Volt |
| Tiempo de respuesta | <3 seg |
| Señal de Salida | Acondicionada |
| Tipo de protección | IP20 |
| Material | Acero Inoxidable |
| Cable | Revestimiento PVC (-30C a 80C) Conductor trenzado, flexible de cobre |
| Sensor | Tipo: MEMs a base de silicio |



Sensor VFS 1-12 Grundfos



- Curvas de escalamiento de señal



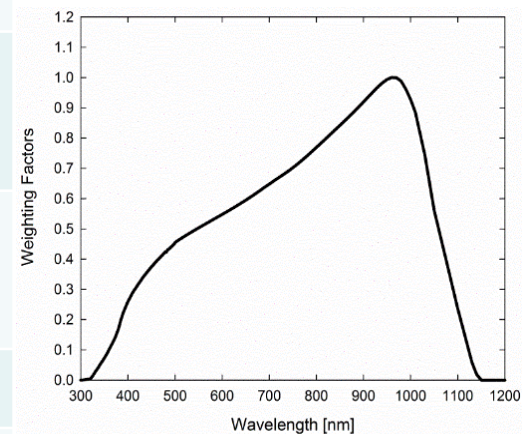
Sensor Ds1820 Dallas

| Equipo | Dallas 1820 |
|------------------------|--|
| Rango de medición | -40°C hasta 125°C |
| Resolución | 0.06°C |
| Fuente de Alimentación | 3V a 5.5V |
| Tiempo de respuesta | 750 ms |
| Señal de Salida | No necesita acondicionamiento |
| Resistencia | Resistente a la presión. 20 bar, con sellado |
| Material | Sensor de camisa protectora de acero inoxidable |
| Cable | SEMOFLEX de alta calidad, blindado para exteriores |

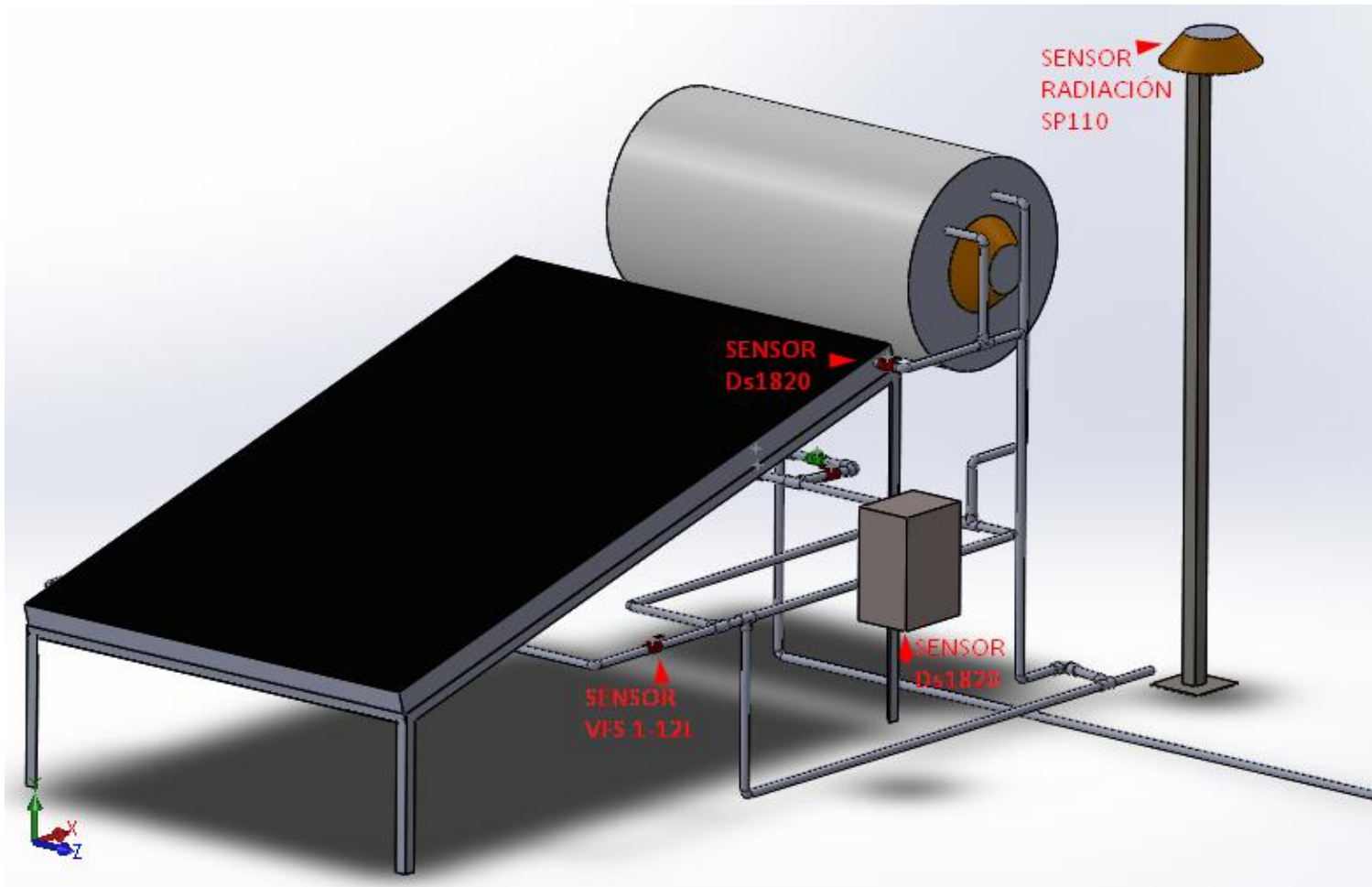


Sensor de radiación-Piranómetro SP110

| | |
|-----------------------------------|--|
| Equipo | SP 110 |
| Alimentación | - |
| Sensibilidad | 0.02mV por m ² |
| Linealidad | Desviación máxima del 1% hasta 1750 W/m ² |
| Dependencia de temperatura | +/-0.04% por °C máximo |
| Rango de funcionamiento | -40 °C a 70 °C |
| Detector | Fotocélula de silicio |
| Campo de visión | 180° |
| Rango espectral | 360nm a 1120nm |



Ubicación de sensores



Microcontrolador

Arduino Mega

- La tarjeta Arduino utiliza una plataforma de código abierto basada en hardware libre y software flexibles que facilitan su uso.
- Se enfoca en facilitar la programación al usuario y permitir el uso de elementos electrónicos.



Módulo Ethernet

Arduino Ethernet Shield

- Es posible observar y evaluar sin el software de programación, solo es necesario un servidor WEB.
- El Arduino Ethernet Shield permite a una placa Arduino conectarse a internet por medio de un chip Wiznet W5100 Ethernet el cual proporciona una red (IP).
- Su conexión Ethernet es un estándar RJ-45, con un transformador de línea integrada y Power over Ethernet habilitado.



Comunicación del microcontrolador a la página

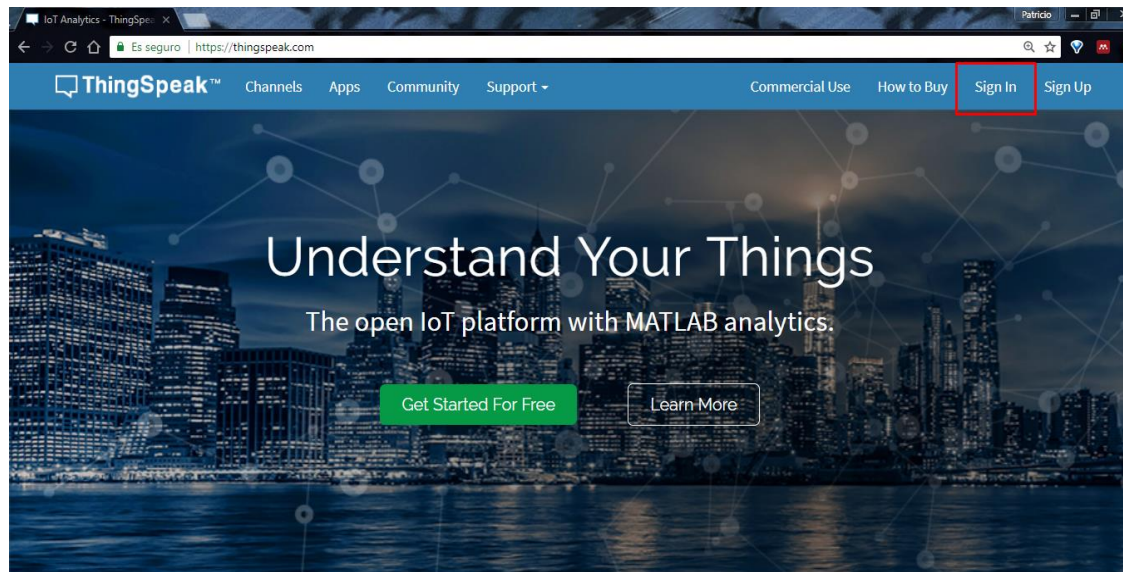
- Para establecer una comunicación entre los dos elementos basta con ingresar el número del canal de la página y una APIKey que es generada directamente al momento de crear un canal en una plataforma IOT.

```
unsigned long myChannelNumber = 501617;  
const char * myWriteAPIKey = "BSQBFDI64EDYR0KK";
```

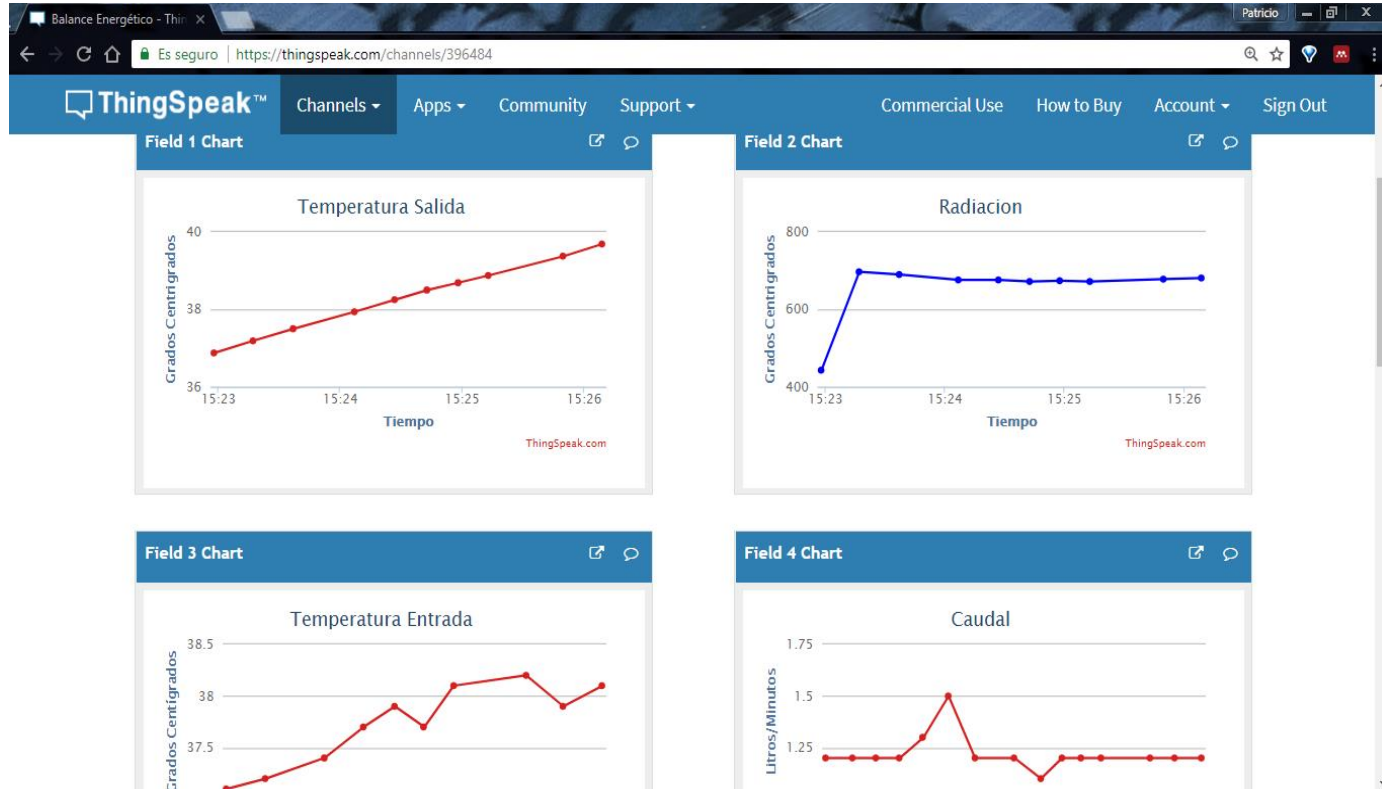


Configuración de página IOT

- Ya montados los equipos en la parte del Hardware se configura la plataforma del software en la pagina IOT <https://thingspeak.com/>, donde lo primero que se debe hacer es crear una cuenta.

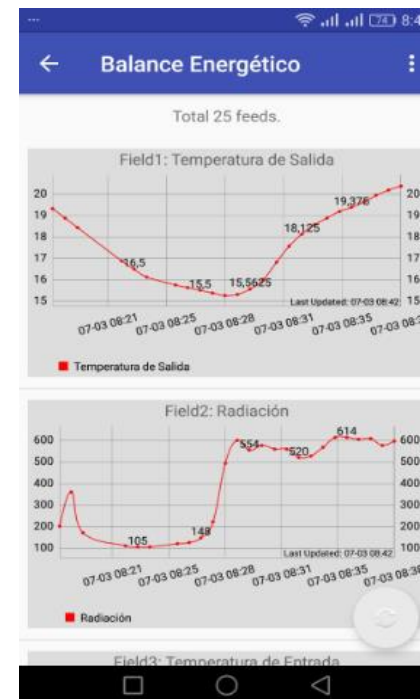


Prueba de interfaz de comunicación



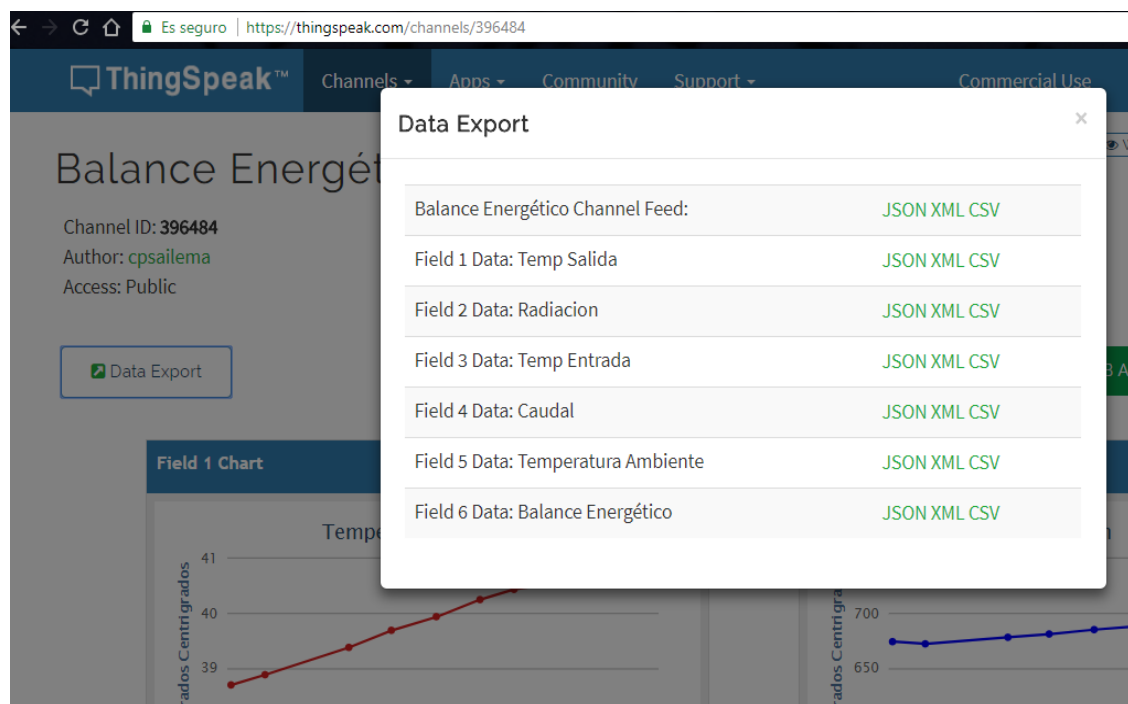
Opciones Alternativas

Otra forma de realizar el monitoreo es por medio de dispositivos Android a través de aplicaciones como Pocket IoT o ThingChart, ambas aplicaciones ayudaran al usuario visualizar los valores en tiempo real de manera remota.



Descarga de datos

- Uno de los beneficios que ofrece la plataforma es la de almacenamiento de datos que pueden ser descargados por el usuario cuando se desee.



The screenshot shows the Thingspeak interface for channel 396484, titled "Balance Energético". The channel information includes Channel ID: 396484, Author: cpsailema, and Access: Public. A "Data Export" button is visible. A modal window titled "Data Export" is open, displaying a list of data fields and their corresponding export formats (JSON, XML, CSV).

| Field Name | Export Format |
|------------------------------------|---------------|
| Balance Energético Channel Feed: | JSON XML CSV |
| Field 1 Data: Temp Salida | JSON XML CSV |
| Field 2 Data: Radiacion | JSON XML CSV |
| Field 3 Data: Temp Entrada | JSON XML CSV |
| Field 4 Data: Caudal | JSON XML CSV |
| Field 5 Data: Temperatura Ambiente | JSON XML CSV |
| Field 6 Data: Balance Energético | JSON XML CSV |



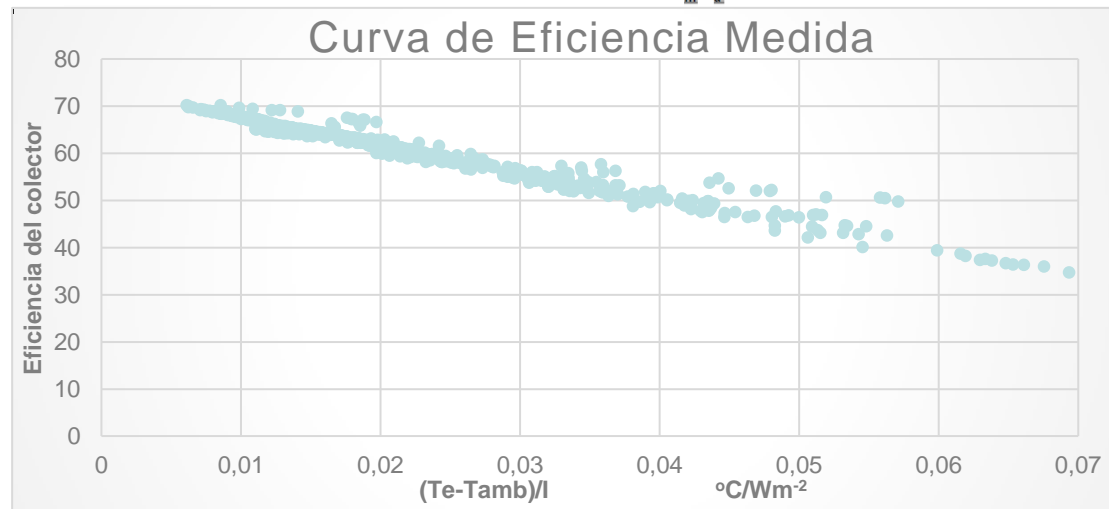
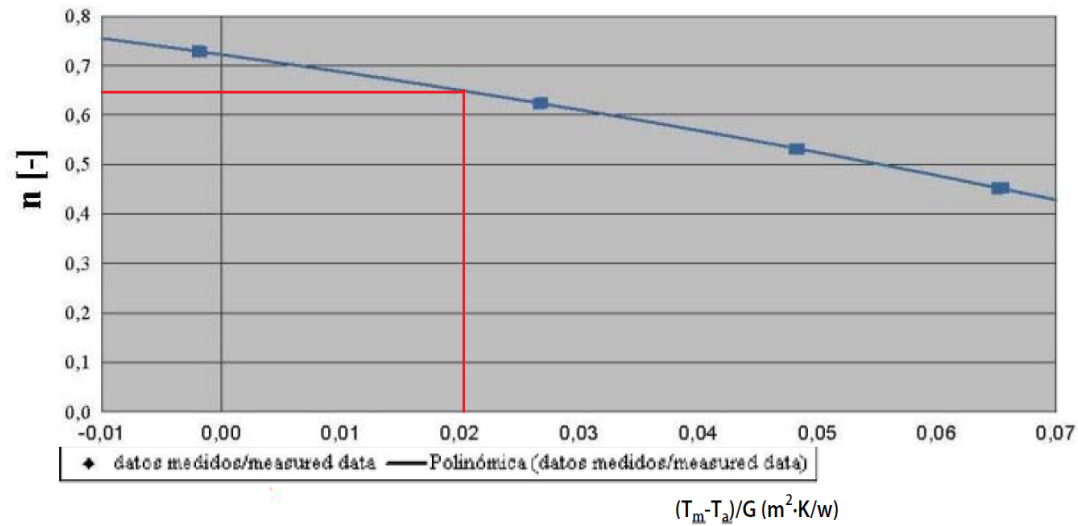
Monitoreo de datos

| created_at | | Temp Salida | Irradiancia | Temp Entrada | Caudal | Temp Ambiente | Eficiencia | (Tm-Ta)/I | | | | | | | | | |
|------------|----------|-------------|-------------|--------------|--------|---------------|------------|-----------|------------|----------|---------|------|------|-----|-------|------------|-------|
| | | | | | | | | | 13/06/2018 | 11:50:03 | 42.75 | 992 | 33 | 1.2 | 22.75 | 63.8597593 | 0.015 |
| 13/06/2018 | 9:00:05 | 28.6875 | 553 | 20.3 | 1.7 | 19.5 | 68.3008318 | 0.009 | 13/06/2018 | 12:00:14 | 43.1875 | 932 | 33.8 | 1.2 | 23.5 | 63.5013251 | 0.016 |
| 13/06/2018 | 9:10:04 | 27 | 564 | 20 | 1 | 17.75 | 67.0632646 | 0.010 | 13/06/2018 | 12:10:32 | 43.125 | 850 | 34.8 | 1.2 | 23.25 | 62.2136956 | 0.018 |
| 13/06/2018 | 9:20:07 | 27.9375 | 585 | 20.8 | 1 | 18.75 | 67.2998141 | 0.010 | 13/06/2018 | 12:20:14 | 42.8125 | 843 | 35.3 | 1.2 | 24.25 | 62.4633941 | 0.018 |
| 13/06/2018 | 9:30:01 | 28.6875 | 614 | 21 | 1.1 | 18.25 | 66.8222822 | 0.011 | 13/06/2018 | 12:30:05 | 43.5625 | 848 | 35.8 | 1.2 | 24 | 62.0452358 | 0.018 |
| 13/06/2018 | 9:40:09 | 28.9375 | 649 | 21.3 | 1.1 | 17.75 | 66.3338078 | 0.011 | 13/06/2018 | 12:40:01 | 44.25 | 848 | 37.2 | 1.2 | 24 | 61.1874057 | 0.020 |
| 13/06/2018 | 9:50:17 | 29.875 | 678 | 21.8 | 1 | 18.5 | 66.6294027 | 0.011 | 13/06/2018 | 12:50:11 | 44.625 | 868 | 37.6 | 1.2 | 23.75 | 60.9760153 | 0.020 |
| 13/06/2018 | 10:00:07 | 30.9375 | 710 | 23.4 | 1.1 | 19.5 | 66.3197113 | 0.011 | 13/06/2018 | 13:00:09 | 45.6875 | 861 | 38.5 | 1.4 | 24.25 | 60.6672256 | 0.021 |
| 13/06/2018 | 10:10:03 | 32.0625 | 756 | 24.4 | 1.2 | 18.5 | 65.1685119 | 0.013 | 13/06/2018 | 13:10:05 | 46.5625 | 1001 | 39.2 | 1.1 | 24.5 | 61.5963986 | 0.018 |
| 13/06/2018 | 10:20:04 | 34.3125 | 772 | 26.2 | 1.2 | 20.25 | 65.2155457 | 0.013 | 13/06/2018 | 13:20:04 | 47.5 | 898 | 40.3 | 1.2 | 25 | 60.3950278 | 0.021 |
| 13/06/2018 | 10:30:00 | 35.1875 | 761 | 27.5 | 1.1 | 19.75 | 63.9719202 | 0.015 | 13/06/2018 | 13:30:11 | 45.5625 | 578 | 41 | 1.2 | 22.5 | 52.6812716 | 0.036 |
| 13/06/2018 | 10:40:13 | 36.4375 | 802 | 27.8 | 1.2 | 20.25 | 64.3549143 | 0.015 | 13/06/2018 | 13:40:01 | 42.75 | 681 | 42.1 | 1.3 | 22.25 | 54.0797081 | 0.030 |
| 13/06/2018 | 10:50:00 | 36.8125 | 813 | 29.1 | 1.2 | 20.25 | 63.6075415 | 0.016 | 13/06/2018 | 13:50:07 | 48.0625 | 713 | 42.9 | 1.2 | 24 | 55.4691374 | 0.030 |
| 13/06/2018 | 11:00:14 | 37.625 | 832 | 28.9 | 1.4 | 20.75 | 64.1577539 | 0.015 | 13/06/2018 | 14:00:06 | 49.5625 | 882 | 42.8 | 1.1 | 24 | 58.1228571 | 0.025 |
| 13/06/2018 | 11:10:05 | 38.0625 | 246 | 29.4 | 1.2 | 20 | 50.0395122 | 0.056 | 13/06/2018 | 14:10:15 | 47.1875 | 900 | 43.3 | 1.2 | 23.25 | 57.5898792 | 0.024 |
| 13/06/2018 | 11:20:17 | 35.8125 | 944 | 30.9 | 1.2 | 20.75 | 63.6527026 | 0.013 | | | | | | | | | |
| 13/06/2018 | 11:30:11 | 40.5625 | 900 | 31.2 | 1.1 | 21.5 | 63.6472167 | 0.016 | | | | | | | | | |
| 13/06/2018 | 11:40:10 | 41.875 | 994 | 32.2 | 1.2 | 22.75 | 64.2818926 | 0.014 | | | | | | | | | |



Comprobación de Resultados

Curva de Eficiencia - Hoja de Datos



Energía Acumulada

- Caudal circulado en 5 horas

$$V = 354 \text{ lt}$$

- Energía Acu

$$Qu = 3.05 \text{ kWh o } 3053.97 \text{ Wh}$$



Conclusiones

- Para el monitoreo de datos del colector solar plano se seleccionó e implementó 4 sensores: el sensor de caudal-temperatura VFS 1-12 Grundfos de resol se ubicó en la entrada del colector, el sensor Ds1820 Dallas se utilizó para medir la temperatura de salida del colector y la temperatura ambiente, mientras que para medir la irradiancia el sensor seleccionado fue el SP110 de la marca Apogee.
- Para el sistema web server se implementó el microcontrolador Arduino que conjuntamente con el uso de su software trabaja con la plataforma Thingspeak estableciendo el servicio para el envío de datos a la red y así poder monitorear la operación del colector solar plano en tiempo real, este proceso es realizado con el fin de simplificar la determinación de parámetros de eficiencia y balance energético en el mismo.



Conclusiones

- Los datos son receptados en la plataforma, los cuales son de acceso público solo con el número de nombre del usuario o número de canal, si se desea acceder a su registro histórico se necesitará la contraseña y correo electrónico con el cual se encuentra comunicado el sistema, los datos pueden ser monitoreados desde la página ThingSpeak en un computador o desde las Aplicaciones Pocket IOT y ThingChart disponibles en Play Store para Arduino.
- A partir de los datos obtenidos se realizó el balance energético para determinar el rendimiento del colector solar plano. En las primeras 5 horas se obtiene la mayor eficiencia mientras que pasado este tiempo el sistema se vuelve ineficiente con rendimientos bajos. Esto se debe a que el rendimiento disminuye a medida que aumenta la diferencia de temperatura entre el fluido y el ambiente, y al aumento proporcional de las pérdidas.



Conclusiones

- De acuerdo a las mediciones efectuadas el error alcanzado en la curva Eficiencia vs $(T_m - T_a)/I$ fue del 2% al 3% más o menos respecto a la curva brindada por el fabricante con lo cual indica que el sistema implementado es fiable.



Recomendaciones

- Para eliminar la recirculación forzada que fue implementada en el colector solar plano se recomienda la implementación de más paneles en paralelo con el fin de aumentar el caudal para que pueda ser detectado por el mismo sensor.
- La fuente de alimentación debe estar normada en los 5 voltios fijos para la alimentación de todos los sensores y que el sistema brinde mayor confianza en sus lecturas.
- Para determinar un balance energético óptimo el monitoreo se debe hacer en un día que no presente mayor nubosidad, esto para obtener un rango de eficiencia instantánea mayor así como también su energía producida.
- El sistema hidráulico del colector solar plano debe encontrarse libre para su recirculación para evitar la temperatura de estancamiento que corresponde a la máxima temperatura que el fluido puede alcanzar, esto sucede cuando no existe circulación en el captador y por ende la temperatura alcanza rangos sumamente elevados.



**GRACIAS POR SU
ATENCIÓN**



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA