



**Cooperativa:
"Planta comunitaria para el secado de productos pesqueros
operada con energía termosolar para su integración en
comunidades rurales"**

**DESARROLLO DE SENSORES E INSTALACIÓN
DE DATALOGGER PARA LA MEDICIÓN DE
PARAMETROS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE
SECADO SOLAR**



PLANTA COMUNITARIA PARA EL SECADO DE PRODUCTOS PESQUEROS OPERADA CON ENERGÍA TERMOSOLAR PARA SU INTEGRACIÓN EN COMUNIDADES RURALES”, CON NÚMERO DE APROBACIÓN CONAHCYT 319524.

Contenido

Resumen.....	1
Introducción	2
Marco teórico	3
Principios de funcionamiento.....	3
Termopares	4
Tipo K (Cromel / Alumel):	4
Construcciones típicas del termopar tipo k:	4
Datos técnicos del termopar	5
Temperatura.....	7
Datalogger	7
Irradiancia.....	7
Flujo volumétrico.	7
Temperatura	7
Piranómetro.....	7
Anemómetro de hilo caliente	7
Equipos	8
• Sensor Dht22	11
Especificaciones Técnicas	12
Funcionamiento del sensor dht22	12
Conexión	12
Programa	12
Ventajas y desventajas	13
Introducción a la Irradiancia	13
Tipos de sensores de irradiancia	14
Características de los sensores de irradiancia.....	14
Medición de irradiancia con fotodiodos/módulos de silicio.....	14
Metodología	20
Paso 1. Habilitar licencia del datalogger.....	20
Paso 2. Toma de medidas del termopar:.....	26
Paso 3. Instrumentación:.....	27
Paso 4. Toma de datos:	28
Resultados	28

Conclusión	35
Bibliografía	36

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Medidor de radiación solar	8
Ilustración 2. Anemómetro de hilo caliente.....	9
Ilustración 3. Datalogger.....	10
Ilustración 4. Cable termopar tipo K.	11
Ilustración 5. Habilitación de licencia.....	20
Ilustración 6. Listado de licencias	20
Ilustración 7. Información sobre las licencias disponibles	21
Ilustración 8. Clic de descarga del software	21
Ilustración 9. Descarga del software.....	22
Ilustración 10. Interfaz del software	22
Ilustración 11. Activación de licencia	22
Ilustración 12. Host ID	23
Ilustración 13. Licencia de software	23
Ilustración 14. Procedimiento de instalación	24
Ilustración 15. Validación de la licencia	24
Ilustración 16. Interfaz del software.....	25
Ilustración 17. Interfaz de funcionamiento de datalogger	25
Ilustración 18. Comportamiento de 4 sensores de temperatura	26
Ilustración 19. Medición, corte y soldadura del termopar	27
Ilustración 20. Instrumentación de los colectores	27
Ilustración 21. Toma de datos en tiempo real.....	28
Ilustración 22. Eficiencia.....	30
Ilustración 23. Velocidad de entrada a los colectores	31
Ilustración 24. Velocidad de entrada a los colectores solares	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 25. Temperaturas registradas con el datalogger a la salida de los colectores	33
Ilustración 26. Irradiancia solar incidente en los colectores de aire el 19 de marzo del 2024.....	34

Índice de tablas

Tabla 1. Datos técnicos del termopar.....	5
Tabla 2. Ficha técnica de termopar tipo K.....	6
Tabla 3. Valores de temperatura del datalogger e irradiancia.....	28
Tabla 4. Velocidad y temperatura del aire medidos por el anemómetro.....	29
Tabla 5. Eficiencia del sistema	30

Resumen

El datalogger es un dispositivo electrónico que registra y almacena datos en tiempo real, en el contexto del monitoreo de temperatura de captadores solares, el adquisidor recolecta las mediciones precisas y continuas de la temperatura ambiente en la ubicación específica.

Con el objetivo de facilitar la supervisión del sistema de los datos capturados en la línea de colectores de aire, se realizaron los termopares para poder conectar los canales adecuados al datalogger, con la intención de medir y registrar con precisión las fluctuaciones de temperatura. Los datos recopilados por los termopares se almacenan en una memoria USB y para poder visualizarlos es necesaria una PC para transferir los datos; los cuales pueden percibirse con ayuda de la licencia KICKSTARTFL-DL que suministra el proveedor, esta licencia permite utilizar el programa del datalogger DAQ6510 y cumplir con el objetivo principal. Los datos son mostrados en un documento Excel, en el cual se analizan las temperaturas para realizar gráficas que mejoren la comprensión de los datos; gracias a ello se puede detectar posibles problemas o fallas en el sistema de aire.

Los sistemas de colectores solares planos de aire son una forma innovadora de aprovechar la energía solar para generar calor. Estos sistemas utilizan paneles planos, generalmente montados en techos o estructuras elevadas, para absorber la radiación solar y calentar el aire que circula a través de ellos. A diferencia de los sistemas de colectores solares térmicos convencionales, que utilizan líquidos como agua o glicol para transferir calor, los colectores solares planos de aire aprovechan directamente el aire como medio de transferencia térmica.

La operación de estos sistemas es relativamente simple: los paneles planos están equipados con una serie de conductos o canales por los cuales circula el aire. Cuando la radiación solar incide sobre la superficie del panel, éste absorbe parte de la energía y calienta el aire que pasa a través de los conductos. El aire caliente puede ser utilizado para diversas aplicaciones, como calefacción de espacios interiores, secado de productos agrícolas, o incluso como parte de sistemas de ventilación.

Introducción

En el contexto actual de búsqueda de alternativas sostenibles y eficientes para el aprovechamiento de la energía, los colectores solares emergen como una solución prometedora y cada vez más relevante en el panorama energético mundial.

La medición de la eficiencia de los colectores solares térmicos es una práctica fundamental en el campo de la energía solar, que permite evaluar el rendimiento y la efectividad de estos dispositivos en la captura y aprovechamiento de la energía solar para la generación de calor. La medición de la eficiencia de los colectores solares térmicos proporciona información valiosa para los ingenieros, diseñadores y técnicos involucrados en proyectos de energía solar, permitiéndoles tomar decisiones informadas para mejorar el rendimiento y la rentabilidad de estos sistemas.

Por lo cual, la importancia de la instrumentación, con un sistema de recolección de datos Datalogger, es fundamental, ya que con él se puede agilizar el trabajo de recopilación de datos de temperaturas durante periodos de tiempos específicos, el cual nos hablará del comportamiento de temperatura mediante termopares tipo k dentro del sistema además de tomar datos de velocidad del viento e irradiancia solar con otros equipos de medición implementados para tomar datos en diferentes puntos del sistema.

El Datalogger DAQ6510 que se utilizó tiene una interfaz de usuario con pantalla táctil que permite un tiempo de configuración más rápido y monitoreo permitiendo al usuario analizar los datos en tiempo real.

Para lo que concierne a una planta de secado solar, conocer las características de los colectores solares usados para su funcionamiento, representa una valiosa tarea que permite procesos más eficientes y reduce las pérdidas económicas debido a variaciones del clima.

La información obtenida mediante la medición de la temperatura permite ajustar el flujo de aire en los secadores, maximizando la eficiencia energética y evitar la posible pérdida de calor de los colectores solares. Además, esta información es crucial para controlar la tasa de secado y eliminar patógenos en los productos, asegurando su calidad y seguridad para el consumo. En definitiva, las mediciones de temperatura son esenciales para el óptimo funcionamiento y la obtención de resultados de alta calidad en colectores y secadores solares.

Marco teórico

Los calentadores solares son dispositivos diseñados para aprovechar la energía del sol y convertirla en calor utilizable para diversos fines, como el calentamiento de agua para uso doméstico o industrial. Estos sistemas se basan en el principio de la energía solar térmica, que aprovecha la radiación solar para elevar la temperatura de un fluido, generalmente agua o un líquido refrigerante, mediante la captación y acumulación de la energía solar.

Principios de funcionamiento

Los calentadores solares constan típicamente de tres componentes principales: colectores solares, un sistema de transferencia de calor y un sistema de almacenamiento de energía.

1. **Colectores solares:** Son dispositivos encargados de captar la radiación solar y convertirla en calor. Estos colectores pueden ser planos o de tubos al vacío. Los colectores planos constan de una placa absorbente, generalmente pintada de negro para maximizar la absorción de calor, cubierta por una cubierta transparente para minimizar las pérdidas de calor por convección. Los colectores de tubos al vacío consisten en tubos de vidrio sellados al vacío que contienen un absorbedor interno.

2. **Sistema de transferencia de calor:** Una vez que la energía solar es absorbida por los colectores, se transfiere al fluido que circula a través de ellos. Este fluido puede ser agua u otro líquido, como un anticongelante, que luego transporta el calor hacia el sistema de almacenamiento o hacia el lugar donde se necesita el calor.

3. **Sistema de almacenamiento de energía:** Los calentadores solares suelen contar con un tanque de almacenamiento donde se acumula el agua caliente generada por el sistema. Este tanque puede estar aislado térmicamente para minimizar las pérdidas de calor y garantizar la disponibilidad de agua caliente cuando sea necesario.

Termopares

Los termopares son dispositivos de medición de temperatura que consisten en dos metales diferentes unidos en un extremo. Cuando se someten a una variación de temperatura, generan una diferencia de voltaje que es proporcional a la diferencia de temperatura.

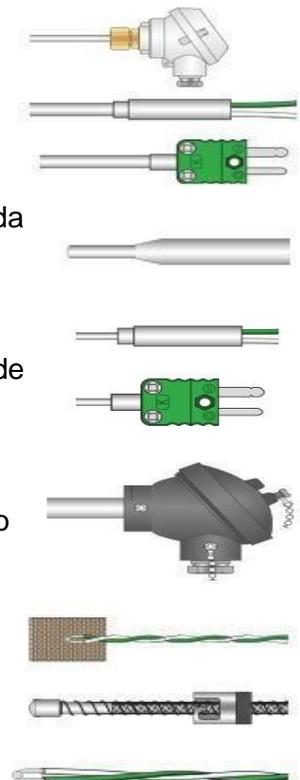
Existen varios tipos de termopares, clasificados según los metales utilizados en su construcción y sus rangos de temperatura. El termopar utilizado para la medición de temperatura con respecto al datalogger es el tipo K:

TIPO K (CROMEL / ALUMEL):

- Es uno de los tipos más comunes de termopar.
- Está hecho de Cromel (aleación de níquel y cromo) y Alumel (aleación de níquel, aluminio y silicio).
- Tiene un rango de temperatura aproximado de -200°C a $+1,300^{\circ}\text{C}$.
- Es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales debido a su amplio rango de temperatura y su buena precisión.

CONSTRUCCIONES TÍPICAS DEL TERMOPAR TIPO K:

- Termopar tipo K de aislamiento mineral: Amplia variedad de terminaciones: casquillo, cable, conector, cabezal, etc.
- Termopar tipo K de vaina reducida: sensores de respuesta rápida ideales para aplicaciones industriales, así como otras aplicaciones.
- Termopar tipo K miniatura: ideales para medidas de precisión de temperatura donde se requiera una respuesta rápida.
- Termopar tipo K industrial: Para aplicaciones industriales como hornos, quemadores, altos hornos, etc.
- Termopar tipo K de propósito general: Con mango, de superficie, bayoneta, tornillo, de parche, etc.



- Termopares tipo K con aprobación ATEX/IECEX: amplia variedad de terminaciones para los termopares tales como casquillos, cabezales, zócalos, etc.



DATOS TÉCNICOS DEL TERMOPAR

Tabla 1. Datos técnicos del termopar

Combinación de Conductores		Cambio aproximado de las F.E.M. Generadas por grado celsius con la unión de referencia a 0°C μV		Rango de funcionamiento aproximado de temperatura de la unión de medida		Tolerancias de salida de termopar a IEC 60584-1		
Conductor +	Conductor -	1 00°C	2	Con tino uo	Temperatura de la unión de medida	Tip o	las e	las e
Níquel - Cromo También conocido como: Chromel™, Thermokanthal KP*, NiCr, T1*, Tophel	Níquel - Aluminio (magnético) También conocido como: Ni-Al, Alumel™, Thermokanthal KN™, T2™, NiAl™	5 00°C	3	0 a +110 0°C	- 180 a +13 50° C	Rango de Temperatura Tolerancia Rango de Temperatura Tolerancia	40 °C a 37 5° C 1.5 °C 75 °C a	- 40 °C a 33 3° C 2.5 °C 33 3° C a 20 0° C 0.0 07 5 t
		1 000° C	9					

Tabla 2. Ficha técnica de termopar tipo K

General Description	Resistant to oils, acids other adverse agents and fluids. Good mechanical strength and flexibility. PTFE better for steam/elevated pressure environments.
Cable Length	5m, 10m, 25m, 50m, 100m
Cable Type	Single pair of PFA insulated conductors, laid flat with PFA jacket
Core / Strands	1/0.2mm, 1/0.315mm, 7/0.2mm, 1/0.508mm
Conductor Cross Section 1/0.315 (mm ²)	0.078
Conductor Cross Section 1/0.508 (mm ²)	0.203
Conductor Cross Section 7/0.2 (mm ²)	0.219
Outer Colour	Green
+ Colour	Green
- Colour	White
Drain Wire	No
Insulation Material	PFA Insulated
Loop Resistance 1/0.315 (Ohms per combined metre)	12.8
Loop Resistance 1/0.508 (Ohms per combined metre)	4.9
Loop Resistance 7/0.2 (Ohms per combined metre)	4.5
Max. Temperature	+260°C
Min. Temperature	-75°C
+ Conductor	Nickel Chromium
- Conductor	Nickel Aluminium
Screen	No
Standards Met	Colour code (cores & jacket) to IEC-584-3
Thermocouple Type	K
Tolerance	Class 1

Temperatura

Magnitud física que indica la energía interna de un sistema.

Datalogger

Grabador independiente típicamente pequeño y relativamente económico que monitorea y registra datos en tiempo real, tales como voltaje, temperatura y corriente.

Irradiancia

Es la densidad de flujo de energía de radiación, o bien es la razón (o tasa) a la cual cierta cantidad de energía de radiación es emitida o recibida por un objeto por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Se expresa generalmente en watt sobre metro cuadrado (W/m^2).

Flujo volumétrico.

Velocidad a la que el volumen de un fluido pasa a través de un área dada. Cantidad de volumen que fluye a través de la frontera de un sistema por unidad de tiempo (m^3/s , $litro/s$).

Temperatura

Magnitud física que indica la energía interna de un sistema. Medida de la capacidad de transferir calor de un cuerpo.

Piranómetro

Instrumento para medir la radiación solar que incide sobre una superficie plana; cuando se utiliza con una pantalla que impida la incidencia de la radiación solar directa mide sólo la difusa o difundida por la atmósfera.

Anemómetro de hilo caliente

El anemómetro de hilo caliente mide la velocidad del viento y usa un hilo térmico para realizar tal medición. Gracias a ello es posible tener un dispositivo con diseño muy compacto. Además de medir la velocidad del viento, el anemómetro de hilo caliente también mide el caudal y la temperatura ambiental.

Equipos

- **Medidor de Radiación Solar, Tenmars TN-TM206**

El medidor de energía solar TM-206 es ideal para medir la radiación solar que emite el sol a partir de una reacción de fusión nuclear que crea energía electromagnética. El espectro de radiación solar es cercano al de un cuerpo negro con una temperatura de aproximadamente 5800 K. Aproximadamente la mitad de la radiación se encuentra en la parte visible de onda corta del espectro electromagnético. La otra mitad se encuentra principalmente en la parte del infrarrojo cercano, con algo en la parte ultravioleta del espectro. Las unidades de medida son Watts por metro cuadrado o BTU.



Ilustración 1. Medidor de radiación solar

- **Anemómetro de hilo caliente**

Este modelo de anemómetro de hilo caliente es producido por Banetechno. De acuerdo con la página del proveedor, el sensor delgado del anemómetro térmico es adecuado para mediciones en espacios estrechos y el mango se puede alargar para ocasiones de medición adecuadas.

El anemómetro de hilo caliente posee las siguientes características:

1. Medición de la velocidad, temperatura y flujo del viento
2. Conversión de unidades de velocidad, temperatura y flujo del viento
3. Medición de la velocidad máxima y mínima del viento
4. Medición de $2/3 V_{max}$ y flujo de viento promedio

5. Retención, almacenamiento y eliminación de datos función
6. Función de indicación de batería baja
7. Se apaga automáticamente en 10 minutos si no se realiza ninguna operación adicional. No se apagará automáticamente si está alimentado por una fuente USB.
8. Memoria de 350 registros
9. Retroiluminación
10. Conexión a PC con cable USB
11. Alerta de pulsación de tecla de audio
12. Pantalla LCD grande



Ilustración 2. Anemómetro de hilo caliente

- **Datalogger KEITHLEY DAQ6510 DAQ6510**

Es un sistema de adquisición/registro de datos de precisión con las medidas, funciones y trazabilidad de un multímetro digital de 6.5 dígitos más 80 canales de conmutación de grado de instrumento.

Entre otras características, se encuentran las siguientes:

- Sistema de adquisición de datos/multímetro de 6½ dígitos con 2 ranuras para módulos
- Botones de guardar y recuperar del panel frontal

- DMM especificado de 2 años, con todas las funciones, rastreado con una precisión básica de 0.0025% DCV
- Interfaces de comunicación LAN / LXI estándar y USB-TMC
- Las interfaces opcionales incluyen la tecnología GPIB, RS-232 y TSPLink®
- 12 módulos de control, RF y conmutadores diferentes para conectar hasta 80 DUT en una configuración de prueba
- Hasta 80 canales de 2 polos de termopar, RTD o mediciones de temperatura de termistor
- Velocidades de escaneo de hasta 800 canales/segundo con módulo de relevador de estado sólido
- Conectores del panel frontal para funcionamiento independiente de DMM



Ilustración 3. Datalogger

Termopar tipo K

Un termopar es un sensor para medir la temperatura. Se compone de dos alambres de metales diferentes que están unidos entre sí (normalmente mediante soldadura) en el extremo de detección. Los diferentes tipos de termopares (por ejemplo, K, T, N, J, etc.) están hechos de diferentes combinaciones de metales. Por ejemplo, un termopar tipo K tiene un conductor positivo de níquel-cromo y un conductor negativo de níquel-aluminio.

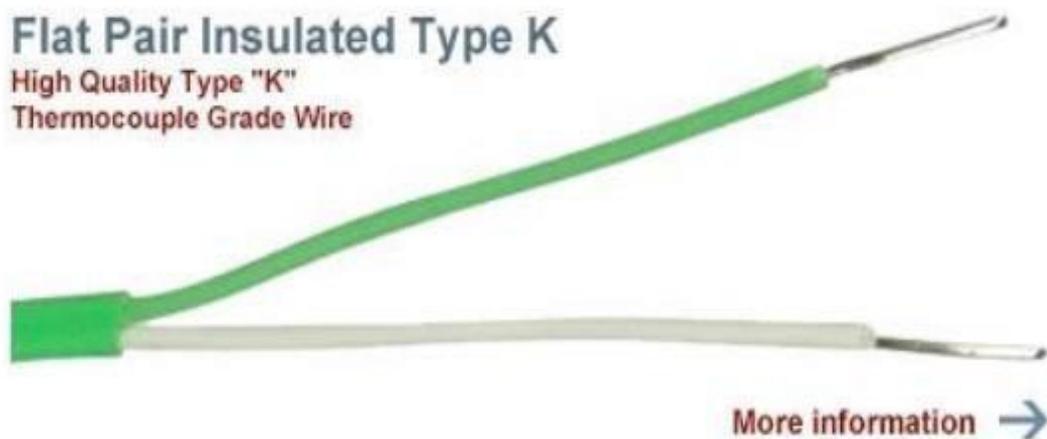


Ilustración 4. Cable termopar tipo K.

El aislamiento en los cables del termopar está codificado por colores para su identificación. El aislamiento del conductor negativo es de color blanco para todos los tipos de termopares. El aislamiento del conductor positivo y cualquier aislamiento general tiene el color del tipo termopar. Por ejemplo, el cable termopar tipo K tendría un aislamiento de color blanco en el conductor negativo (de níquel-aluminio), un aislamiento de color verde en el conductor positivo (de níquelcromo), y la cubierta de aislamiento total sería de color verde.

Sensor Dht22

- **Descripción:** El DHT22, también conocido como AM2302, es un sensor digital que mide la temperatura y la humedad relativa del ambiente.
- **Características principales:**
 - Rango de medición de temperatura: -40°C a +80°C.
 - Rango de medición de humedad: 0% a 100% de humedad relativa.
 - Interfaz digital que facilita la comunicación con microcontroladores.

- **Aplicaciones comunes:**
- Monitoreo de temperatura y humedad en secadores solares.
- Control ambiental en sistemas de ventilación y aire acondicionado.

• Aplicaciones de monitoreo en jardines, invernaderos y granjas.

Especificaciones Técnicas

- **Alimentación:** 3.3V a 5.5V.
- **Precisión de temperatura:** $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.
- **Precisión de humedad:** $\pm 2\%$ en condiciones ideales.
- **Tiempo de respuesta:** ≤ 5 segundos para humedad.
- **Salida de datos:** Señal digital a través de un solo pin, que facilita la comunicación sin necesidad de conversión análoga-digital.

Consumo de energía: Muy bajo, ideal para aplicaciones de bajo consumo.

Funcionamiento del sensor dht22

- **Principio de medición de temperatura:** Utiliza un sensor de temperatura resistivo de tipo termistor.
- **Medición de humedad:** Utiliza un sensor de humedad capacitivo que cambia de capacitancia según la humedad.
- **Comunicación digital:** Emplea un protocolo de un solo cable para transmitir los datos, enviando información en ráfagas de 40 bits que representan tanto la humedad como la temperatura.

Conexión

- Conexión típica con un microcontrolador como Arduino:
- **Pin VCC:** Conectado a la alimentación de 5V o 3.3V.
- **Pin GND:** Conectado a tierra.
- **Pin de datos:** Conectado a un pin digital del microcontrolador a través de una resistencia pull-up (4.7k Ω a 10k Ω). Los módulos ya la incluyen.

Programa

- **Librería recomendada:** DHT sensor library de Adafruit.
- **Ejemplo de código:**

```
#include <DHT.h>

const byte pinH=2;           // Pin al que está conectado el DHT22
#define DHTTYPE DHT22      // Tipo de sensor (DHT22)

DHT dht(pinH, DHTTYPE);

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  dht.begin();
}
```

```

}

void loop() {
  float humedad = dht.readHumidity();
  float temperatura = dht.readTemperature();

  if (isnan(humidity) || isnan(temperature)) {
    Serial.println("Error en la lectura del sensor");
    return;
  }

  Serial.print("Humedad: ");
  Serial.print(humidity);
  Serial.print(" %\t");
  Serial.print("Temperatura: ");
  Serial.print(temperature);
  Serial.println(" °C");
  delay(2000);
}

```

Ventajas y desventajas

- **Ventajas:** Fácil de usar, costo accesible, buena precisión para aplicaciones domésticas y de hobby.
- **Desventajas:** Tiempo de respuesta más lento en comparación con otros sensores, sensibilidad a la condensación en entornos extremadamente húmedos. Si se moja deja de funcionar.



Sensor de irradiancia

INTRODUCCIÓN A LA IRRADIANCIA

- La irradiancia es la potencia de radiación electromagnética que incide sobre una superficie por unidad de área.
- Se mide en Watts sobre metro cuadrado (W/m²).
- Es muy muy útil para análisis de rendimientos y eficiencias en dispositivos relacionados con la energía solar.

Tipos de sensores de irradiancia

Principales Tipos de Sensores:

1. Piranómetros: Miden la irradiancia global (directa + difusa) en una superficie plana.
2. Pirheliómetros: Miden la irradiancia solar directa. Estos dos, no necesitan de una fuente de poder eléctrica, su respuesta no depende del espectro de la radiación electromagnética. Son caros y lentos en reponder.
3. Fotorresistencias/Fototransistores: Son sensores de irradiancia con respuesta no lineal, económicos, necesitan de una fuente de voltaje o de corriente. La respuesta depende del espectro de la radiación electromagnética y del circuito asociado. Las fotorresistencias, por carecer de capacitancias asociadas, son los de mas rápida respuesta.
4. Fotodiodos/Celdas solares/Módulos fotovoltaicos: Miden la irradiancia y no se necesita de una fuente de voltaje o corriente para su operación. La respuesta de la corriente en corto circuito es lineal con la irradiancia y son rápidos. Esta respuesta depende del espectro de la radiación electromagnética y de el área de la celda/fotodiodo, principalmente.
5. Piroeléctricos: Funcionan con los cambios de presión debido a una señal pulsada de luz. Requiere un chopper y un amplificador lock-in . Son de respuesta plana como los piranómetros y con una razón señal/ruido mucho mejor que estos últimos. Obviamente, son mas caros.

Características de los sensores de irradiancia

Características Técnicas:

1. Rango Espectral: Define la banda en frecuencia o longitud de onda en donde es sensible el sensor.
2. Sensibilidad y Precisión: Indican la capacidad de detectar pequeños cambios de irradiancia.
3. Tiempo de Respuesta: Indica la rapidez con la que el sensor reacciona a cambios de irradiancia.

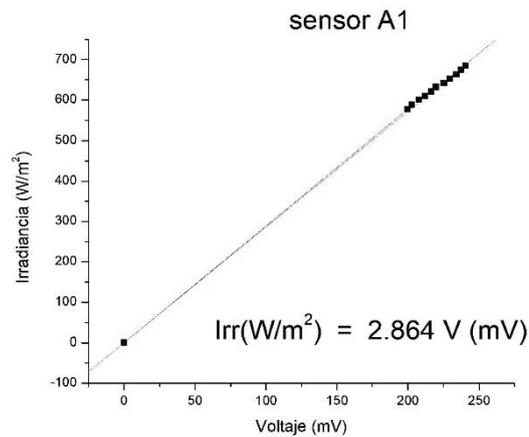
MEDICIÓN DE IRRADIANCIA CON FOTODIODOS/MÓDULOS DE SILICIO

Para medir irradiancia con celdas solares/módulos fotovoltaicos/fotodiodos es necesario medir la corriente en corto circuito (I_{cc}) que produce, la cual es directamente proporcional a la irradiancia y aumenta un poco con la temperatura. El voltaje en circuito abierto (V_{ca}) es proporcional al logaritmo de la irradiancia y disminuye mucho con la temperatura, por estas razones, ese parámetro no se usa para medir irradiancia. En el proyecto se utilizaron módulos fotovoltaicos de muy baja potencia con V_{ca} de 6V y I_{cc} de 25 mA. para medir la irradiancia. Ya que los microcontroladores leen voltaje , no corriente, se coloca una resistencia al módulo para que la caída de voltaje sea linealmente proporcional a la irradiancia. Esta **resistencia (R) debe de cumplir con el criterio empírico de $R \leq V_{ca}/(10 I_{cc}) \leq 24$** . Para este caso se usó una resistencia de 22 Ohm.

Después de elegir y conectar la resistencia al módulo, se debe de hacer una curva de calibración con un sensor de irradiancia. Esto da una línea recta que cruza por cero. Así es

que solo se requiere de una constante, por lo que la irradiancia será : $I_{rr} = cte V_m$. Donde V_m es el voltaje del módulo y cte es la constante de calibración

En la siguiente figura se muestra una curva de calibración



Las ventajas del uso de módulos para medir irradiancia son:

- Cubren un amplio rango del espectro solar
- Son rápidos
- Son económicos, no necesitan una fuente externa para medir

Las desventajas son:

- No cubren todo el espectro solar.
- Se necesita una resistencia para obtener una señal de voltaje lineal con la irradiancia.

Sensores de peso

La medición de masa del producto dentro de una secadora es el parámetro más importante a considerar en el proceso de secado solar o en el secado con fuentes convencionales.

Existen en el mercado diferentes tipos de sensores de masa, analógicos y digitales. Se eligió uno digital, que consiste de una resistencia adherida a una placa de aluminio (figuras 1a y 1b).

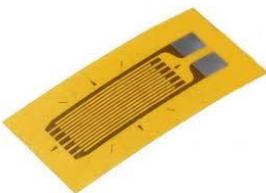
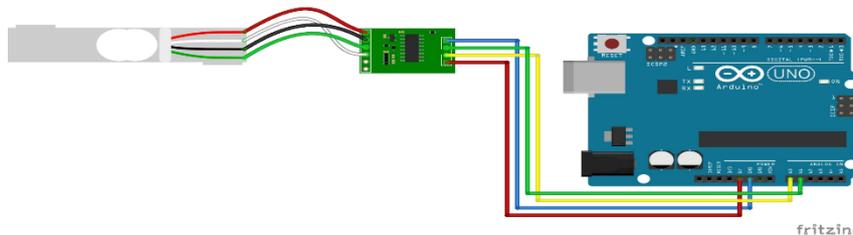


figura 1a



figura 1b

Al deformarse la placa de aluminio, se deforma la resistencia en su geometría. Su resistividad no cambia, pero al cambiar la geometría, cambia su resistencia eléctrica. Esta resistencia se coloca en un circuito con otras tres resistencias muy parecidas, con el fin de amplificar pequeños cambios en la resistencia de una de ellas. Este cambio en la resistencia produce un cambio en el voltaje de un módulo de conversión analógico a digital (hx711), el cual tiene como salida un número entero, que será proporcional a la presión utilizada para deformar la placa de aluminio. Este número es enviado a un microcontrolador, con el cual se calcula la masa (figura 2)



Una masa (M) grande proporcionará una presión grande y esto un número entero (N) grande, una masa pequeña, proporcionará una presión pequeña y así, un número entero mas pequeño. Este comportamiento es lineal $M = a + bN$, entre el número entero y la masa que provoca la presión. El sensor se tiene que calibrar con al menos una masa para encontrar a y b, como se aprecia en la figura 3.

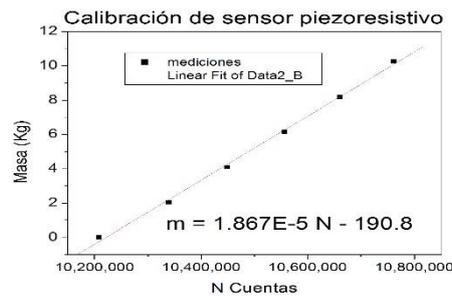


figura 3

Programa

Programa para utilizar el sensor de masa mediante acondicionador hx711

```
#include <Q2HX711.h> // librería del circuito integrado hx711
const byte hx711_data_pin = 19; // se conecta a pin 19 del microcontrolador
const byte hx711_clock_pin = 18; // 18
Q2HX711 hx711(hx711_data_pin, hx711_clock_pin);
const float a=-190.8; // constante de calibración del sensor
const float b=1.867E-5; // constante de calibración del sensor
void setup() {
  Serial.begin(115200); // se inicia puerto serial a 115200 byte/seg
}
void loop() {
  long N=promedio(20);
  Serial.print(N);Serial.print(" "); // número entero promedio
```

```

Serial.println(a+b*N,1); // masa en gramos
}
float promedio(word n){ //funcion que lee n mediciones y calcula promedio
float s=0; // suma = 0
for (int k=0;k<n;k++)
s+=hx711.read();
return s/n;
}

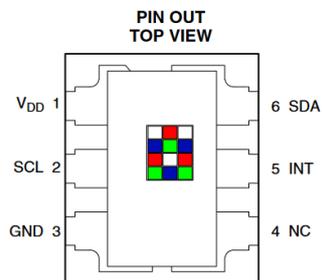
```

Sensor de color

Introducción

El color de un objeto o sustancia es un fenómeno de reflexión de la luz. En el secado de productos alimenticios, el color de la sustancia a secar cambia durante el proceso, por lo que podría ser usada esta variable para determinar algún grado de proceso y ser un factor que determine el paro o la continuidad del proceso de secado.

La reflexión de luz puede medirse con cualquier medidor de irradiancia, sin embargo, en el mercado existen sensores que miden irradiancia y aparte cuentan con filtros que dejan pasar luz roja, verde, azul y blanca, o sea toda la luz. Uno de estos sensores es el TCS34725, que se muestra a continuación



El sensor en sí es una arreglo de 12 fotodiodos dispuestos de esa manera, cuenta con convertidor analógico a digital y con ganancia programable para enviar a un microcontrolador, mediante una interfaz I2C, un número entero proporcional al número de fotones que llegan por segundo cuando pasan por los filtros rojo, verde y azul, y sin filtro. Además cuenta con 2 LED blancos con encendido/apagado programable para poder leer la reflexión del objeto que se desee conocer su color.

Programa

Con altos niveles de iluminación debe de ponerse un tiempo de integración corto, y para bajos niveles de iluminación, un tiempo de integración alto.

El programa utilizado para mostrar la intensidad de luz roja, verde, azul, total y otros datos es el siguiente:

```

// jc, 12 de Enero del 2023
/* Obtenido de la librería, para cambiar tiempo de integración
 *
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_2_4MS \
  (0xFF) /**< 2.4ms - 1 cycle - Max Count: 1024
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_24MS \
  (0xF6) /**< 24.0ms - 10 cycles - Max Count: 10240
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_50MS \
  (0xEB) /**< 50.4ms - 21 cycles - Max Count: 21504
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_60MS \
  (0xE7) /**< 60.0ms - 25 cycles - Max Count: 25700
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_101MS \
  (0xD6) /**< 100.8ms - 42 cycles - Max Count: 43008
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_120MS \
  (0xCE) /**< 120.0ms - 50 cycles - Max Count: 51200
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_154MS \
  (0xC0) /**< 153.6ms - 64 cycles - Max Count: 65535
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_180MS \
  (0xB5) /**< 180.0ms - 75 cycles - Max Count: 65535
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_199MS \
  (0xAD) /**< 199.2ms - 83 cycles - Max Count: 65535
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_240MS \
  (0x9C) /**< 240.0ms - 100 cycles - Max Count: 65535
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_300MS \
  (0x83) /**< 300.0ms - 125 cycles - Max Count: 65535
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_360MS \
  (0x6A) /**< 360.0ms - 150 cycles - Max Count: 65535
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_401MS \
  (0x59) /**< 400.8ms - 167 cycles - Max Count: 65535
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_420MS \
  (0x51) /**< 420.0ms - 175 cycles - Max Count: 65535
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_480MS \
  (0x38) /**< 480.0ms - 200 cycles - Max Count: 65535
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_499MS \
  (0x30) /**< 499.2ms - 208 cycles - Max Count: 65535
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_540MS \
  (0x1F) /**< 540.0ms - 225 cycles - Max Count: 65535
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_600MS \
  (0x06) /**< 600.0ms - 250 cycles - Max Count: 65535
#define TCS34725_INTEGRATIONTIME_614MS \
  (0x00) /**< 614.4ms - 256 cycles - Max Count: 65535
 *
 */
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_TCS34725.h"
// usa 3.3V, GND, SCK y SDA de interfaz I2C (22,21 para ESP32).

```

```
// y LED en corto con INT. 3v3 no se usa
Adafruit_TCS34725 tcs = Adafruit_TCS34725();
void setup(void) {
  Serial.begin(115200);
  if (!tcs.begin())
  {
    Serial.println("Error al iniciar TCS34725");
    while (1) delay(1000);
  }
  tcs.setIntegrationTime(TCS34725_INTEGRATIONTIME_300MS);
}
void loop(void) {
  uint16_t r, g, b, c, colorTemp, lux;
  tcs.getRawData(&r, &g, &b, &c);
  colorTemp = tcs.calculateColorTemperature(r, g, b);
  lux = tcs.calculateLux(r, g, b);
  Serial.print("Temperatura color: "); Serial.print(colorTemp, DEC); Serial.println(" K");
  Serial.print("Lux : "); Serial.println(lux, DEC);
  Serial.print("Rojo: "); Serial.println(r, DEC);
  Serial.print("Verde: "); Serial.println(g, DEC);
  Serial.print("Azul: "); Serial.println(b, DEC);
  Serial.print("Clear: "); Serial.println(c, DEC);
  Serial.println(" ");
  delay(1000);
}
```

Metodología

Paso 1. Habilitar licencia del datalogger

Lo primero por realizar es entrar al Link de la página oficial de Keithley: <https://www.tek.com/en> para iniciar sesión con la cuenta proporcionada por el proveedor.

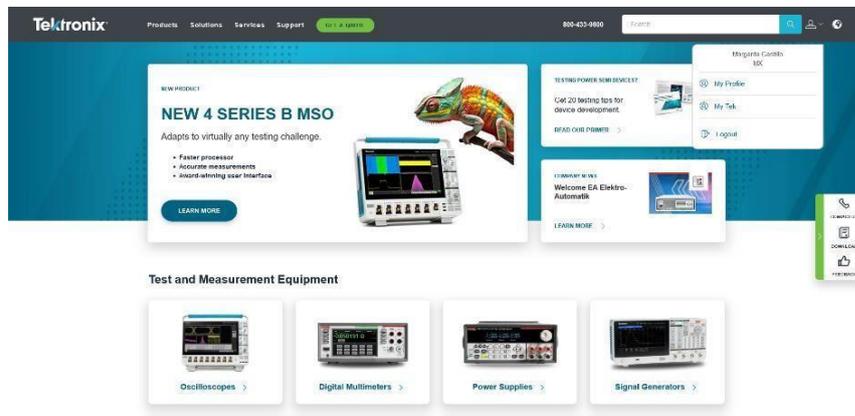


Ilustración 5. Habilitación de licencia

Utilizando el Link de TekAms: https://www2.tek.com/slam/sl_licenses_ui.inventory se mostrará un listado de licencias de la cuenta.

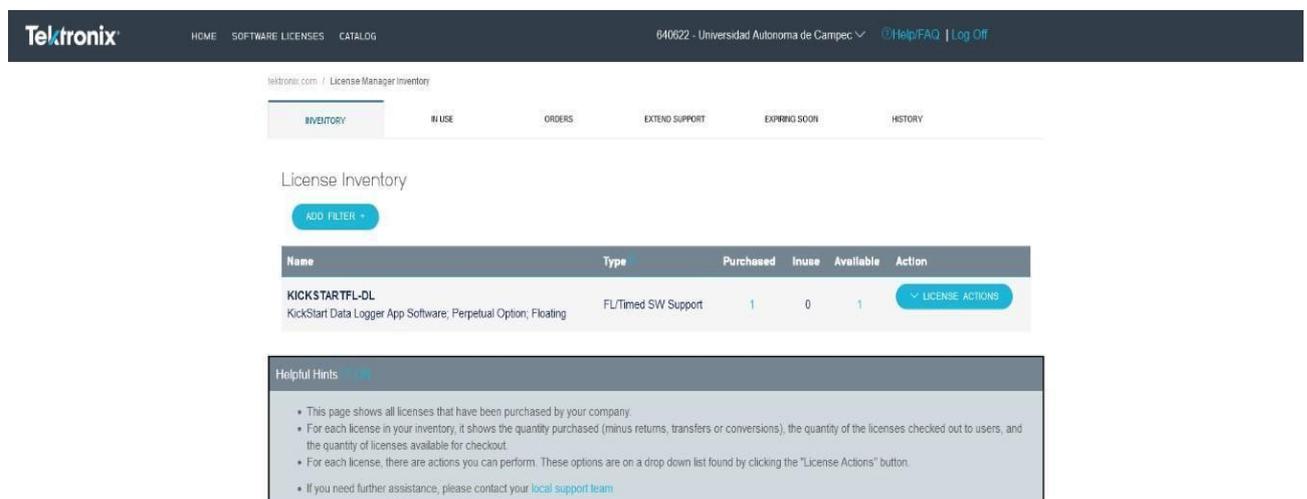


Ilustración 6. Listado de licencias

En la ilustración 6 podemos observar en la parte superior derecha se ve la institución y abajo la licencia llamada “**KICKSTARTFL-DL**”.

Nota: no cierres esta pestaña ya que la usaremos más adelante.

Todas las herramientas Editar Convertir Firma electrónica Buscar texto o herramientas

puntapé inicial FICHA DE DATOS

Información sobre pedidos

Licencias de paquete KickStart Software Suite (incluye todas las aplicaciones de la suite en una licencia)

KICKSTARTFL-SUITE	Software de control de instrumentos KickStart; Opción de licencia flotante perpetua*
KICKSTARTFL-SUITE-UP	Software de control de instrumentos KickStart; Licencia de mantenimiento anual para ampliar el soporte del Opción de licencia flotante perpetua*
KICKSTARTFL-SUITE-AN	Software de control de instrumentos KickStart; Opción de licencia flotante de suscripción de 1 año**

Licencias de aplicaciones de la suite individual del software KickStart

KICKSTARTFL-AFG	Software de aplicación de generador de funciones arbitrarias KickStart; Opción de licencia flotante perpetua*
KICKSTARTFL-AFG-UP	Software de aplicación de generador de funciones arbitrarias KickStart; Licencia de mantenimiento para ampliar el soporte de la opción de licencia flotante perpetua*
KICKSTARTFL-AFG-AN	Software de aplicación de generador de funciones arbitrarias KickStart; Suscripción de 1 año flotante Opción de licencia**
KICKSTARTFL-DL	Software de aplicación de registro de datos KickStart; Opción de licencia flotante perpetua*
KICKSTARTFL-DL-UP	Software de aplicación de registro de datos KickStart; Licencia de mantenimiento para ampliar el soporte del Opción de licencia flotante perpetua*
KICKSTARTFL-DL-AN	Software de aplicación de registro de datos KickStart; Opción de licencia flotante de suscripción de 1 año**
KICKSTARTFL-DMM	Software de aplicación de multímetro digital de precisión KickStart; Opción de licencia flotante perpetua*
KICKSTARTFL-DMM-UP	Software de aplicación de multímetro digital de precisión KickStart; Licencia de mantenimiento para ampliar el soporte de la opción de licencia flotante perpetua*
KICKSTARTFL-DMM-AN	Software de aplicación de multímetro digital de precisión KickStart; Suscripción de 1 año flotante Opción de licencia**
KICKSTARTFL-IVC	Software de aplicación del caracterizador KickStart IV; Opción de licencia flotante perpetua*
KICKSTARTFL-IVC-UP	Software de aplicación del caracterizador KickStart IV; Licencia de mantenimiento para ampliar el soporte del

Ilustración 7. Información sobre las licencias disponibles

La licencia adquirida es la “**KICKSTARTFL-DL**”, como lo indica la ilustración 7, el cual sólo es un software de aplicación de registro de datos.

Lo siguiente es descargar e instalar el programa en la computadora para visualizar los datos obtenidos, tal y como se muestra en la ilustración 8.

Link: <https://www.tek.com/en/products/keithley/keithley-control-software-benchinstruments/kickstart>

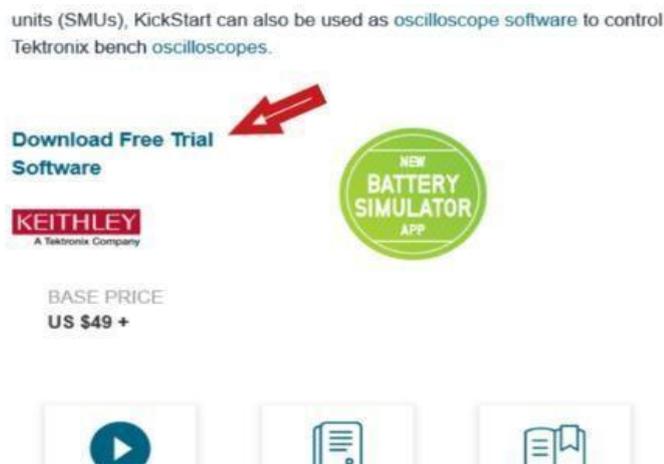


Ilustración 8. Clic de descarga del software

Nota: si no iniciaste sesión anteriormente, es posible que te salga un mensaje donde te pida comprar el programa.

En la ilustración 9 se indica el procedimiento para descargar el programa de la DAQ6510.

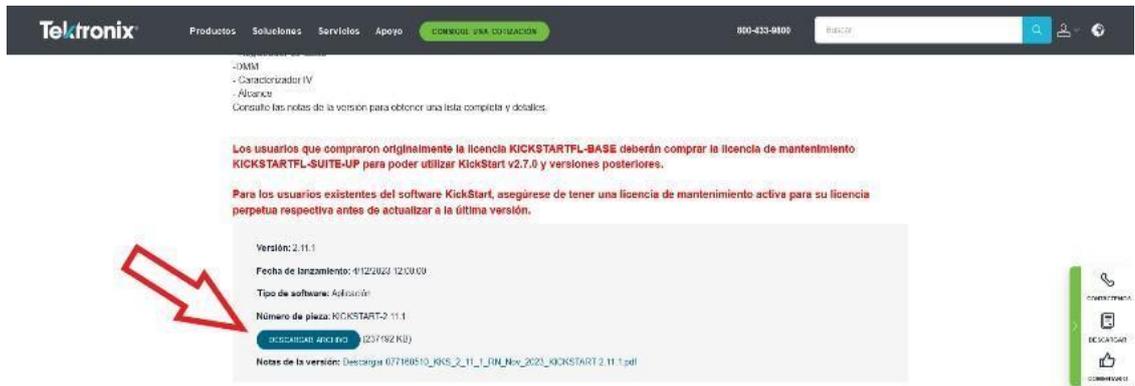


Ilustración 9. Descarga del software

A continuación, en la ilustración 10 se muestra la interfaz del DAQ6510.



Ilustración 10. Interfaz del software

En la ilustración 11 se muestra el procedimiento para activar la licencia **KICKSTARTFL-DL** ya adquirida por la universidad Autónoma de Campeche, dentro del programa debemos irnos al apartado en forma de llave.



Ilustración 11. Activación de licencia

Posteriormente aparecerá una ventana “Manager Licence” en donde instalaremos la licencia del programa, aquí lo importante es copiar el **Host ID** que nos da el programa, en este caso es el que se muestra en la ilustración 12.

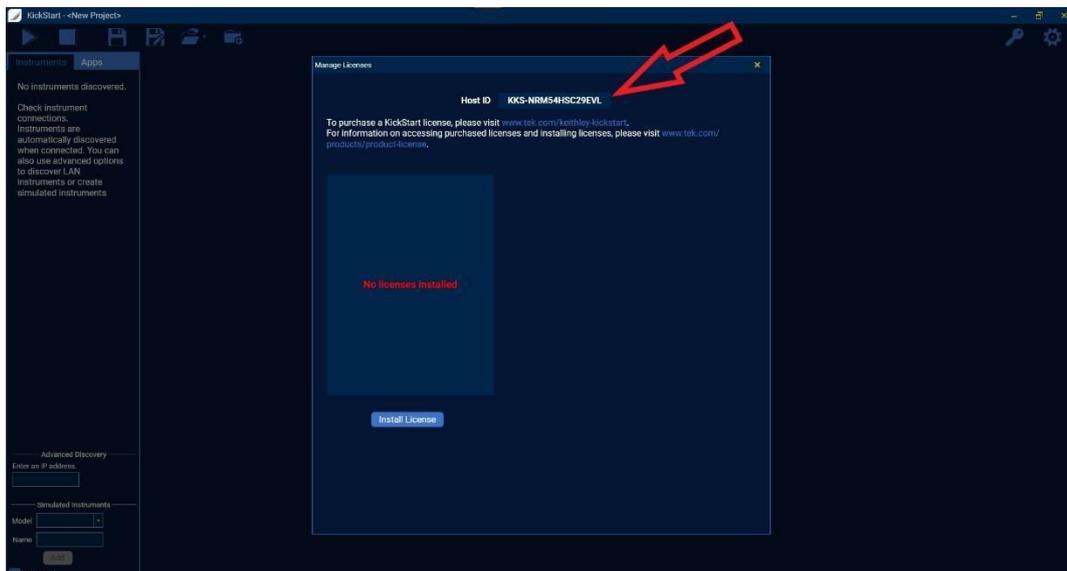


Ilustración 12. Host ID

En la ilustración 13 podemos observar en la parte superior derecha el nombre de la institución que adquirió la licencia y en el apartado “Licencias de software” indicado con la flecha roja, se dará clic para continuar con el proceso de activación de la licencia del programa de nuestro Multímetro Keithley DMM6500 DAQ6510.



Ilustración 13. Licencia de software

En la ilustración 14 se selecciona el número “1” que está marcado con la flecha roja de Disponibles, con el fin de iniciar el proceso de instalación.

teltronix.com / Inventario del administrador de licencias

INVENTARIO EN USO PEDIDOS AMPLIAR SOPORTE EXPIRARÁ PRONTO HISTORIA

Inventario de licencias

AGREGAR FILTRO

Nombre	Tipo	Comprado	En uso	Disponible	Acción
KICKSTARTFL-DL Software de aplicación KickStart Data Logger, Opción perpetua; Flotante	Soporte FL/SW temporizado	1	0	1	ACCIONES DE LICENCIA

Consejos útiles

- Esta página muestra todas las licencias que ha adquirido su empresa.
- Para cada licencia en su inventario, muestra la cantidad comprada (menos devoluciones, transferencias o conversiones), la cantidad de licencias prestadas para los usuarios y la cantidad de licencias disponibles para retirar.
- Para cada licencia, hay acciones que puede realizar. Estas opciones se encuentran en una lista desplegable que se encuentra al hacer clic en el botón "Acciones de licencia".
- Si necesita más ayuda, comuníquese con su equipo de soporte local.

Ilustración 14. Procedimiento de instalación

A continuación, pondremos el ID que copiamos anteriormente como se muestra en la ilustración 15 y lo validamos.

teltronix.com / Inventario del administrador de licencias

INVENTARIO EN USO PEDIDOS AMPLIAR SOPORTE EXPIRARÁ PRONTO HISTORIA

Nombre	Tipo	Comprado	En uso	Disponible	Acción
KICKSTARTFL-DL Software de aplicación KickStart Data Logger, Opción perpetua; Flotante	Soporte FL/SW temporizado	1	0	1	ACCIONES DE LICENCIA

Pagar a una PC/Tableta

Primero debe identificar el dispositivo en el que está instalando la licencia. **Todos los campos son obligatorios**

Licencia * KICKSTARTFL-DL

Descargas de software compatibles

- Software de control de instrumentos KickStart versión 2.11.1: [vaya a la página de descarga](#)
- Software de control de instrumentos KickStart versión 2.11.0: [vaya a la página de descarga](#)

Módulos adicionales requeridos

- Ninguno

ID de anfitrión * KKS-NRM54HSC29EVL

La identificación del host se puede obtener desde la propia aplicación.

- Para los usuarios de SignaVu-PC, el ID del host se encuentra en el menú "Herramientas -> Licencias -> Administrar".
- Los usuarios de SourceXpress encontrarán el ID del host en el menú "seleccione Ayuda->Acerca de". Para los usuarios de AWG 70000A, el ID del host se encuentra en la pestaña Utilidades en "Acerca de mi AWG".
- Para los usuarios de TekScope Anywhere, el ID del host se encuentra en el menú "Ayuda -> Opciones de instalación".
- Para los usuarios de Kickstart, si están instalando KICKSTARTFL-BASE, abra la aplicación y haga clic en el icono de ajustes en la esquina superior derecha. Luego haga clic en Administrar licencias.
- Si está instalando "KICKSTARTFL-HRMA", abra la aplicación y haga clic en el icono de "llave" en la esquina superior derecha. En la siguiente página de licencia, copie la ID del host.
- Para los usuarios de "DataVu-PC", el ID del host se encuentra en el menú del Administrador de licencias.
- Para los instrumentos MSD de la serie 4/5/6, el modelo, el número de serie y el ID del host están disponibles en el menú Ayuda-> Acerca de del instrumento cercano a la parte superior de la ventana.
- Para el software TekRx local, abra la aplicación y haga clic en el botón "Administrar licencias" en la esquina inferior izquierda de la aplicación.
- Para S530, abra una ventana de terminal, escriba "KIBIN/license_config -H" y presione ENTER. Se mostrará la ID del host.

VALIDAR UNIDAD CANCELAR

Cuando envíe esta página, estas son las validaciones que realizaremos:

- Asegúrese de que la licencia todavía esté disponible para retirarla.
- Valide que los campos Modelo/Número de serie/ID de host representen un dispositivo válido.
- Verifique que el instrumento seleccionado sea válido para la licencia seleccionada.
- Asegúrese de que la licencia seleccionada no esté ya instalada en el instrumento.
- Verifique si hay dependencias o requisitos previos para usar esa licencia en el instrumento.
- Si todo se ve bien, le permitiremos ingresar algunos datos "opcionales" adicionales relacionados con su pago.

Consejos útiles

- Lo sentimos, no hay ayuda definida para esta página.
- Si necesita más ayuda, comuníquese con su equipo de soporte local.

Ilustración 15. Validación de la licencia

En la ilustración 16 se puede visualizar que la activación del software ha sido completada.

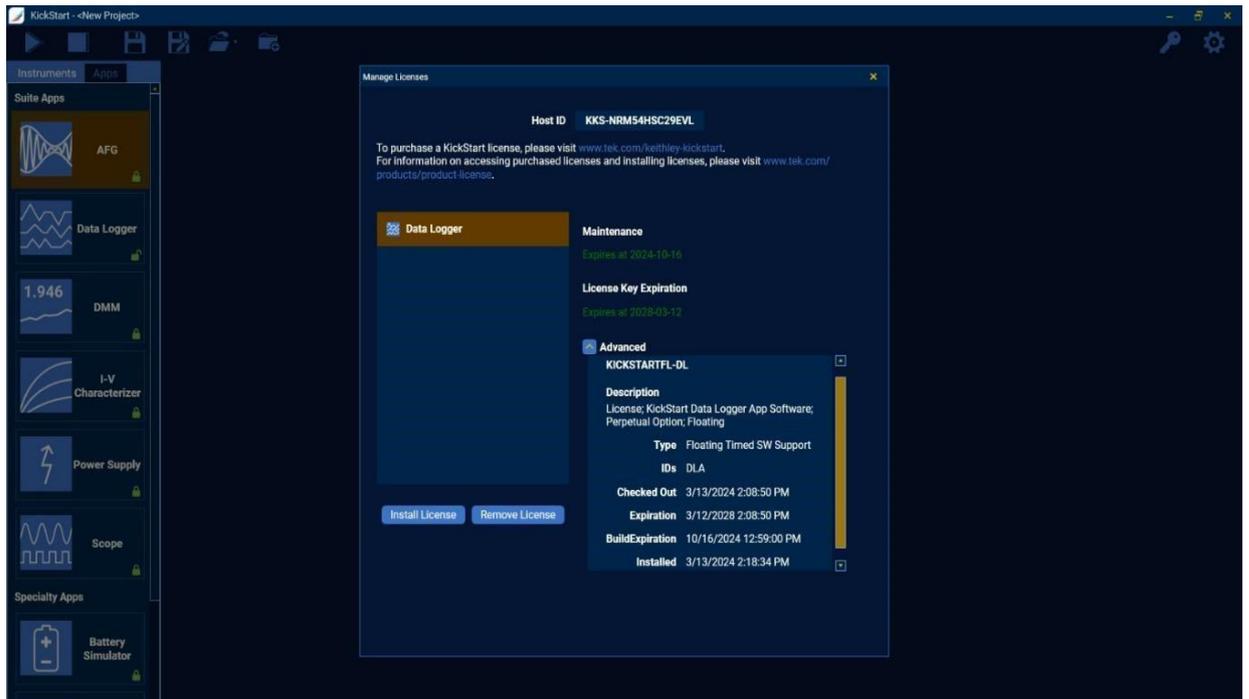


Ilustración 16. Interfaz del software

A continuación, por medio de cable USB se conecta el datalogger, esto con la finalidad de verificar el buen funcionamiento y calibración del equipo por medio de termopares tipo K así como se muestra en la ilustración 17.



Ilustración 17. Interfaz de funcionamiento de datalogger

En la ilustración 18 podemos apreciar el comportamiento de cuatro sensores; los cuales al ser detectados por el datalogger se calibran en automático, cabe señalar que el ambiente donde se trabajo fue dentro le laboratorio de secado solar.

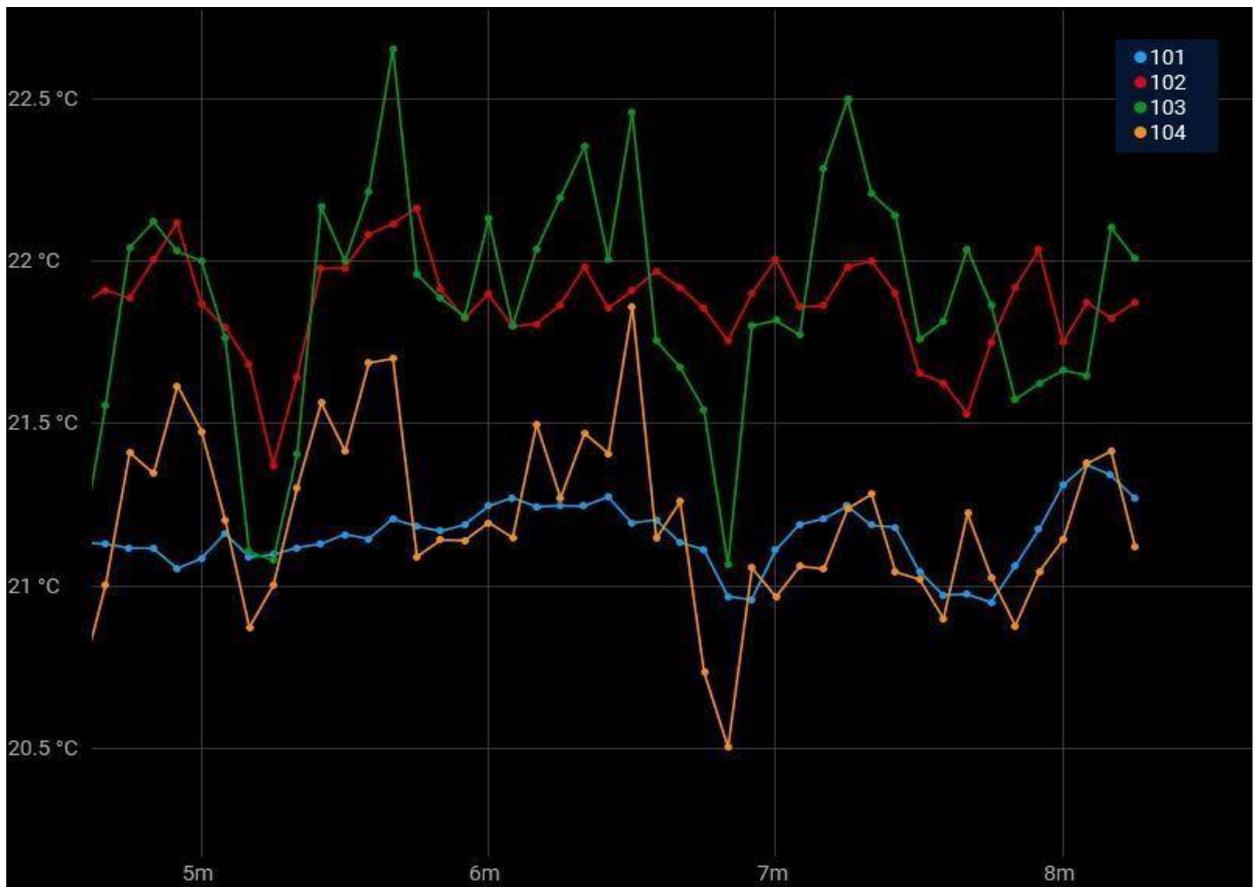


Ilustración 18. Comportamiento de 4 sensores de temperatura

Una vez terminada la activación y comprobar que el datalogger funciona correctamente, se procederá a realizar las pruebas en los colectores de aire, el registro de datos de temperatura puede realizarse mediante dos métodos, el primer método es conectando el datalogger mediante cable USB y el segundo método es colocando una memoria USB para poder grabar datos de temperatura.

Esto nos ahorrará tiempo al momento de recolectar de datos de temperatura en tiempo real.

Paso 2. Toma de medidas del termopar:

Con la finalidad de no desperdiciar cable tipo k, se procede a tomar las medidas exactas con un flexómetro desde la base del datalogger hasta el lugar específico donde se tomará el registro de temperatura y poder tener una lectura confiable en el datalogger, posteriormente se corta, suelda y se colocan en la tarjeta multiplexora del datalogger para finalmente posicionarlos en los colectores a monitorear.

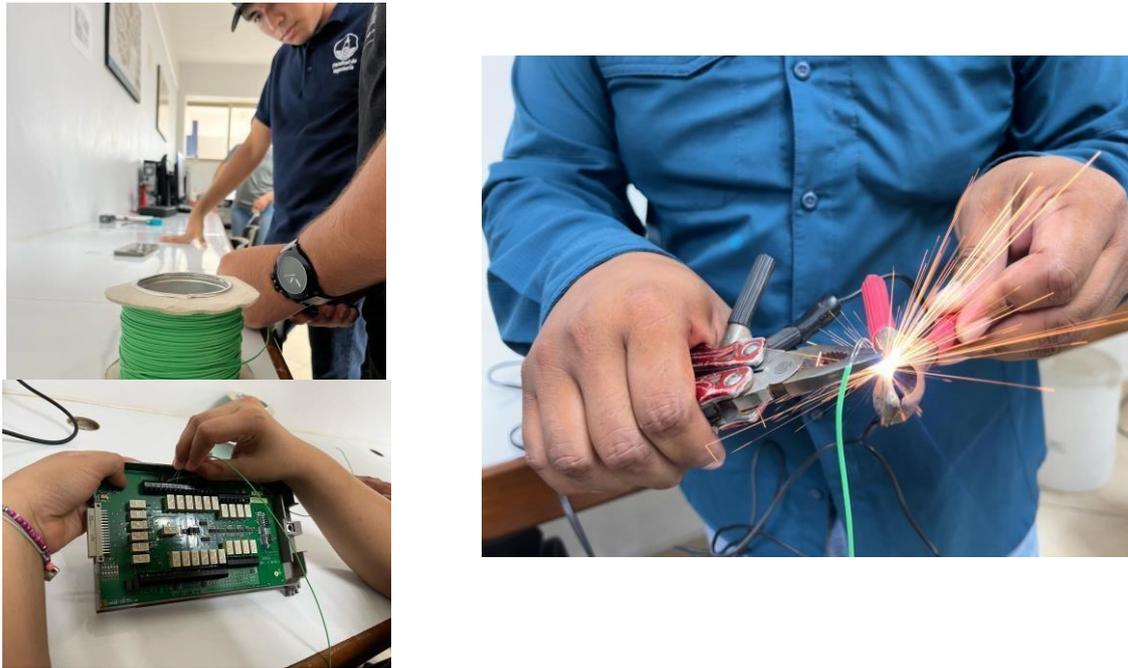


Ilustración 19. Medición, corte y soldadura del termopar

Paso 3. Instrumentación:

En la entrada de los colectores solares, se registra la temperatura y la velocidad del aire utilizando un anemómetro de hilo. A la salida de los colectores, se mide la temperatura mediante termopares tipo k y se registra la información en un datalogger de manera autónoma. Además, en cada línea de colectores solares, se registra la irradiancia solar que incide sobre los colectores al momento de la toma de datos.



Ilustración 20. Instrumentación de los colectores

Paso 4. Toma de datos:

Los datos obtenidos de los instrumentos de medición son capturados en una hoja de cálculo para su posterior análisis. Todas las mediciones se llevaron a cabo en intervalos de 15 minutos, desde las 11:30 a.m. hasta la 1:30 p.m.



Ilustración 21. Toma de datos en tiempo real

Resultados

Los datos obtenidos del datalogger, los de irradiancia solar y velocidad de aire están dados por la hoja de cálculo donde se anotaron al momento de realizar las mediciones.

Tabla 3. Valores de temperatura del datalogger e irradiancia

	Hora								
Temperatura (Data logger) (°C)	11:30 a. m.	11:45 a. m.	12:00 p. m.	12:15 p. m.	12:30 p. m.	12:45 p. m.	01:00 p. m.	01:15 p. m.	01:30 p. m.
Ambiente ch1	33.79	36.04	38.67	35.31	34.31	35.07	37.42	36.72	
Salida A ch2	46.31	69.79	79.36	53.1	51.48	73.76	76.64	76.59	
Salida B ch3	47.65	73.43	83.66	54.99	55.7	80.39	81.11	80.52	
Salida Ch4	44.7	67.19	75.13	50.24	50.95	72.09	72.52	70.27	
Irradiancia (w/m2)									
Linea A	213	1015	1012	227	824	920	860	850	
Linea B	210	1007	1030	400	827	912	870	855	
Linea C	212	500	1016	240	950	913	850	855	

Tabla 4. Velocidad y temperatura del aire medidos por el anemómetro

	Vel. Del aire /temp (anemómetro)					
Hora	Linea A Temp.	Linea A Vel.	Linea B Temp.	Linea B Vel.	Linea C Temp.	Linea C Vel.
11:30	34.8	0.551				
11:31			35.3	0.516		
11:33					35.8	0.578
11:44	36.6	0.562				
11:45			38.8	0.633		
11:46					39.1	0.522
12:01	43.3	0.554				
12:04			47.3	0.365		
12:05					46	0.667
12:15	36.2	0.629				
12:15			35.2	0.667		
12:16					35.1	0.495
12:29	34.6	0.451				
12:30			36.8	0.541		
12:33					41.5	0.401
12:47	39.6	0.742				
12:48			37.7	0.65		
12:48					40	0.635
01:00	36.6	0.748				
01:01			37.1	0.654		
01:01					37.4	0.786
01:15	36.5	0.64				
01:16			36.3	0.67		
01:16					38.8	0.852
01:31	37.6	1.024				
01:32			38.2	0.767		
01:32					38.2	0.81

Usando la metodología para el cálculo de la eficiencia se obtienen los datos de la tabla siguiente.

Tabla 5. Eficiencia del sistema

Datos	Hora								
	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30
Tent	35.3	38.16666667	45.53333333	35.5	37.63333333	39.1	37.03333333	37.2	38
Tsal	46.22	70.13666667	79.38333333	52.77666667	52.71	75.41333333	76.75666667	75.79333333	75.37
Ttf	40.76	54.15166667	62.45833333	44.13833333	45.17166667	57.25666667	56.895	56.49666667	56.685
Cp	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007
Densidad	1.127	1.1	1.059	1.12	1.108	1.07	1.075	1.075	1.075
velocidad	0.5483333333	0.5723333333	0.5286666667	0.597	0.4643333333	0.6756666667	0.7293333333	0.7206666667	0.867
Flujo Volumétrico	0.08225	0.08585	0.0793	0.08955	0.06965	0.10135	0.1094	0.1081	0.13005
Flujo másico	0.09269575	0.094435	0.0839787	0.100296	0.0771722	0.1084445	0.117605	0.1162075	0.13980375
Qu	1019.323253	3040.220559	2862.577748	1744.910024	1171.644032	3965.547146	4704.364255	4516.228627	5261.0374
Ac	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Gi	1058.333333	4203.333333	5096.666667	1445	4335	4575	4300	4266.666667	4018.333333
Eficiencia	0.385	0.289	0.225	0.483	0.108	0.347	0.438	0.423	0.524

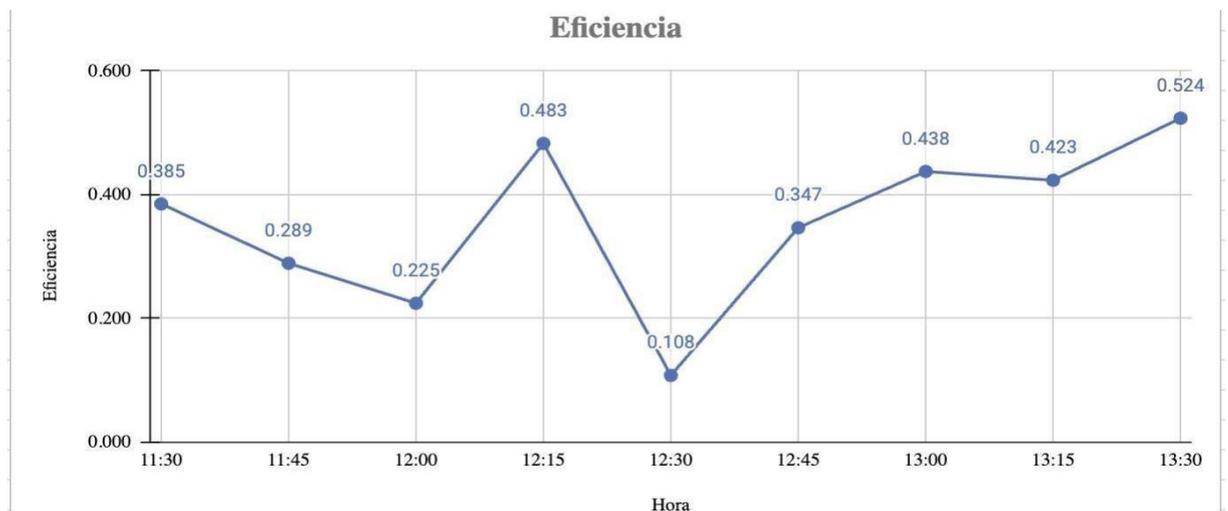


Ilustración 22. Eficiencia

En la ilustración 8 se muestra la eficiencia obtenida, el eje x muestra el tiempo en intervalos de 15 minutos, comenzando desde las 11:30 hasta la 1:30.

El eje y representa la eficiencia, con valores que van desde 0.00 hasta 0.600, con intervalos de 0.200. Ahora, los puntos de los datos indicados en la gráfica representan la eficiencia para cada uno de los tiempos específicos:

- A las 11:30, la eficiencia es de 0.385.
- A las 11:45, la eficiencia es de 0.289.
- A las 12:00, la eficiencia es de 0.225.
- A las 12:15, la eficiencia es de 0.483.
- A las 12:30, la eficiencia es de 0.108.
- A las 12:45, la eficiencia es de 0.347.
- A la 1:00, la eficiencia es de 0.438.
- A la 1:15, la eficiencia es de 0.423.
- A la 1:30, la eficiencia es de 0.524.

Estos datos muestran cómo varía la eficiencia a lo largo del tiempo en el período de 11:30 a 1:30. Se puede notar que la eficiencia fluctúa en diferentes momentos, alcanzando su punto máximo en algunos momentos y disminuyendo en otros.

Observando los datos que se obtuvieron:

- La eficiencia más alta es 0.524, que ocurre a la 1:30.
- La eficiencia más baja es 0.108, que ocurre a las 12:30.

Por lo tanto, el punto donde la eficiencia es mayor es a la 1:30, con una eficiencia de 0.524, y el punto donde la eficiencia es menor es a las 12:30, con una eficiencia de 0.108.

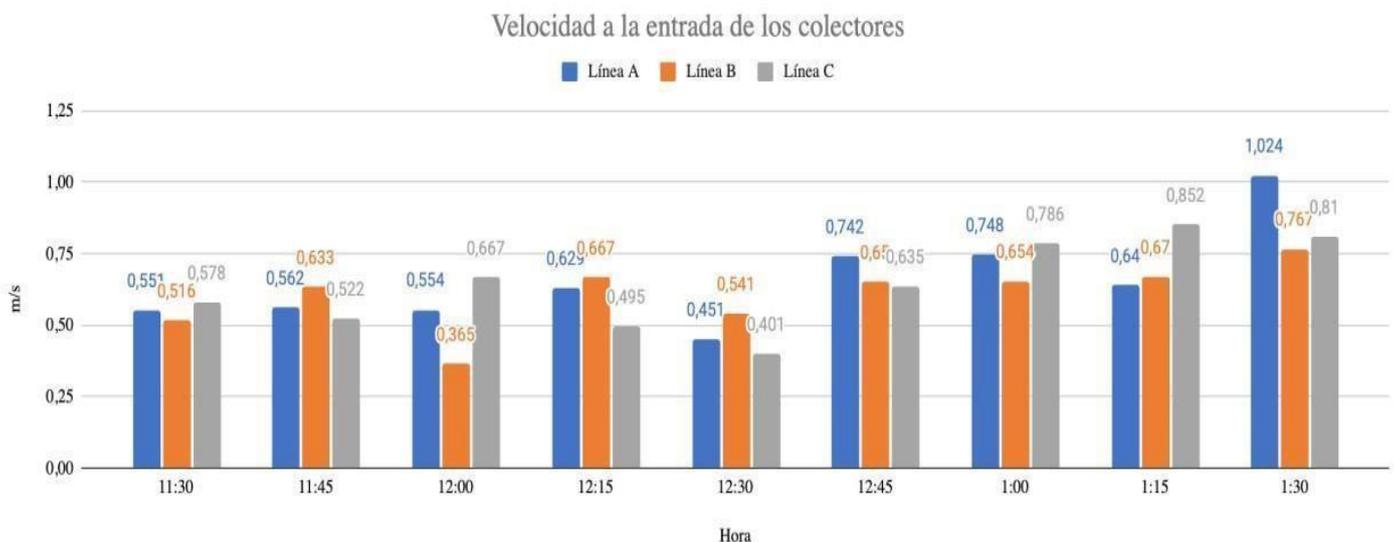


Ilustración 23. Velocidad de entrada a los colectores

Temperaturas a la entrada de los colectores solares

En la Ilustración 9 y 10 los datos muestran una correlación entre la temperatura y la velocidad del aire en la entrada de los colectores solares al igual que la irradiancia solar incidente sobre los colectores de aire tomada al mismo tiempo representada en la ilustración 12. Esto sugiere que el aumento de la irradiancia solar está asociado con un aumento en la temperatura y la velocidad del aire en los colectores solares, lo que puede mejorar la eficiencia del proceso de secado.

Temperaturas del datalogger (de salida y ambiente)

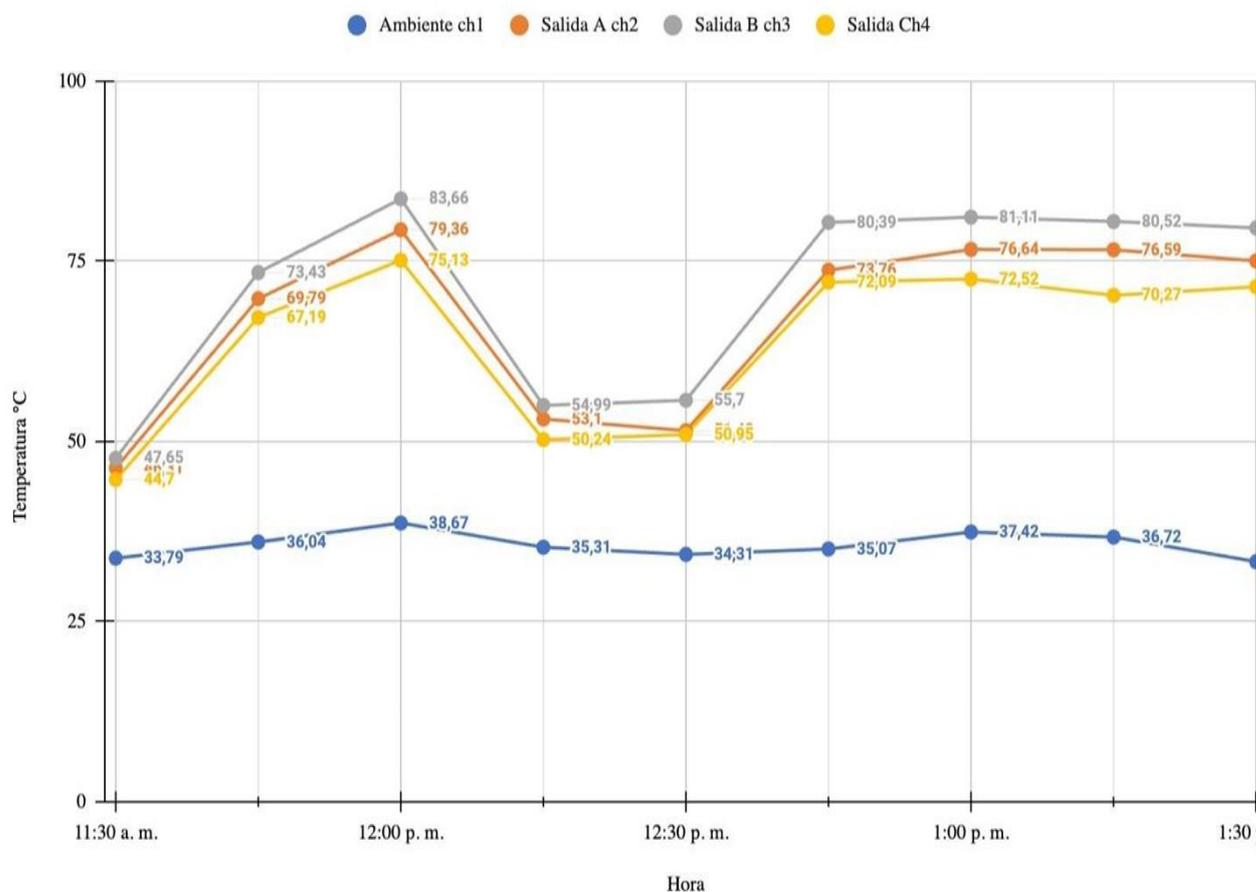


Ilustración 25. Temperaturas registradas con el datalogger a la salida de los colectores

En la ilustración 11 se observa un aumento en la temperatura en las salidas de los colectores (Salidas A, B y C) esto debido a la naturaleza del colector solar de convertir la irradiación solar en calor a medida que avanza el tiempo, lo que indica un efecto positivo del proceso de secado.

Además, la velocidad del aire también muestra variaciones, lo que sugiere una adecuada circulación dentro de los colectores Ilustración 9, contribuyendo al aumento de temperatura dentro del secador solar y beneficiando el proceso de secado.

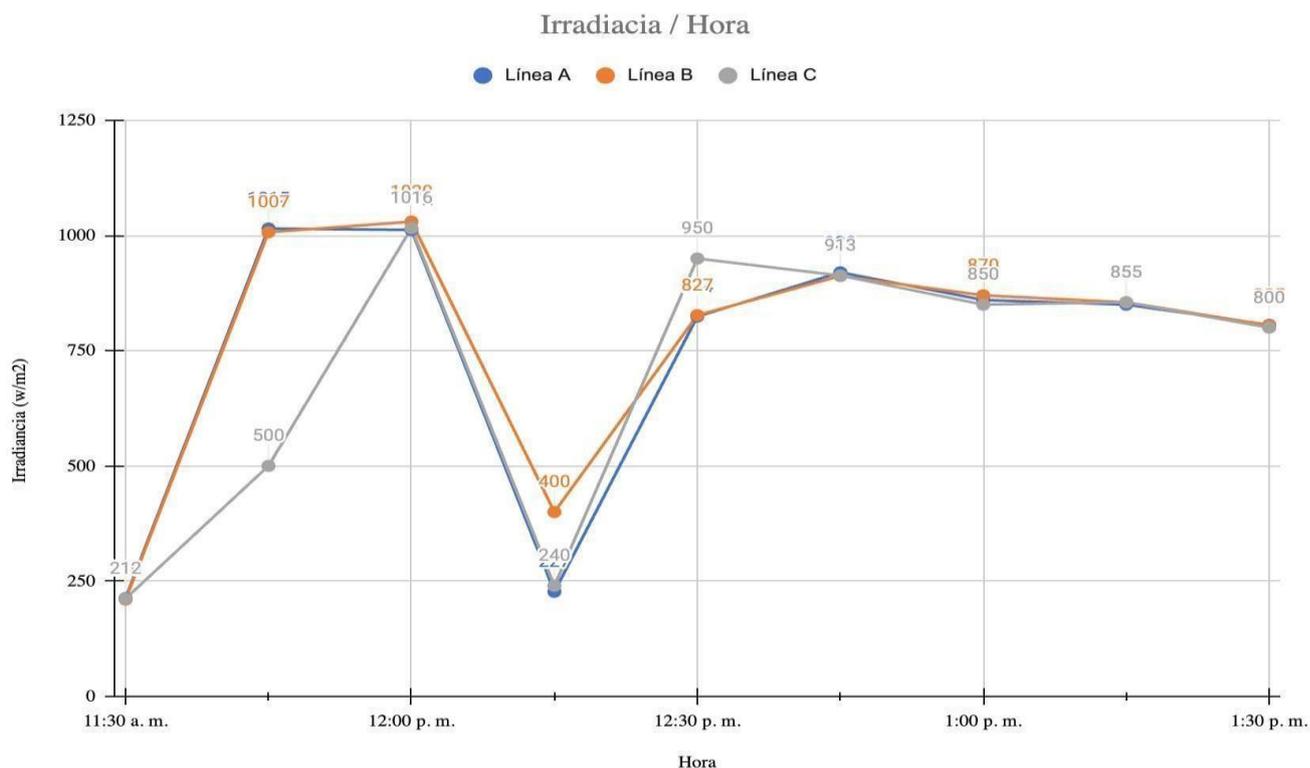


Ilustración 26. Irradiación solar incidente en los colectores de aire el 19 de marzo del 2024

En la ilustración 12 se muestra la gráfica de irradiación solar incidente en los colectores de aire los cuales se estuvieron monitoreando el 19 de marzo del 2024, en la ilustración se muestra el tiempo en intervalos de 15 minutos, comenzando desde las 11:30 hasta la 1:30.

El eje y representa la irradiación solar, con valores que van desde 0 hasta los 1016 W/m² registrados ese mismo día. Durante la mañana del 19 de marzo se presentó nubosidad constante en el horario de 12:00pm a 12:30pm lo cual se ve representado con una caída de irradiación del 240 W/m² esto demuestra que las condiciones climatológicas son esenciales para tener mejor desempeño en los secadores solares.

CONCLUSIÓN

Los sensores DS18B20 para medir temperatura en el rango de -40 a 125 C, es la mejor elección para ser usados como sensor de temperatura en secadores solares. Los sensores DHT22 , por su precio y capacidades, son una buena elección para medir humedad relativa en secadores solares

Los módulos de silicio de baja potencia (6V, 25 mA) son una buena opción, práctica y económica para medir irradiación. los sensores de masa acondicionados por el módulo hx711 pueden medir masa con precisión de 0.1 gramos y son sencillos de calibrar. el sensor de color TCS34725 mide luz reflejada que puede ser usada para determinar el grado de secado de un producto.

De acuerdo a los resultados sobre sistemas de colectores solares planos de aire, se puede concluir que estos sistemas ofrecen una prometedora alternativa para aprovechar la energía solar en diversas aplicaciones siempre y cuando las condiciones climatológicas sean favorables, el monitoreo constante de las condiciones climáticas es esencial para garantizar la óptima eficiencia térmica en los colectores solares térmicos. En primer lugar, las fluctuaciones climáticas como la radiación solar, la temperatura ambiente y la velocidad del viento, afectan directamente la cantidad de energía solar disponible para ser capturada por los colectores. Por lo tanto, comprender estos factores y cómo influyen en la eficiencia del sistema es crucial para maximizar la producción de calor que sea útil en procesos industriales o para uso domésticos.

En conclusión, los resultados obtenidos fueron los esperados, el datalogger funcionó de manera eficaz y precisa con respecto a los colectores solares, logrando almacenar todos los datos necesarios para monitorear la temperatura, en este caso, la toma fue cada 15 minutos; con la intención de ir observando las variaciones que puede llegar a presentarse en los captadores así como también facilitar la toma de datos importantes durante periodos prolongados.

BIBLIOGRAFÍA

- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía . (07 de octubre de 2021). Servicios energéticos, Calentadores de Agua. Obtenido de <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/servicios-energeticos-calentadores-de-agua>
- Guitierrez, E. (07 de Mayo de 2023). USO DE CALENTADORES SOLARES EN EL MUNDO. Obtenido de calentador solar.net: <https://calentadorsolar.net/el-calentadorsolaren-el-mundo/>
- LABFACILITY. (Noviembre de 2023). IEC Type K PFA Insulated Flat Pair Thermocouple Cable / Wire . Obtenido de TC Cable - 31.
- Octavio García, D. G. (2020). Curso especializado en energía solar térmica . México.
- Santone, A. (2012). Ecología Autosustentable. Mexico : Adastra.
- Ortega Ávila, N., Salgado Tránsito, I., Venegas Reyes, J., & Ramírez Benítez, J. (2022). Guía para la evaluación del rendimiento de sistemas solares térmicos. México.