

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# Diseño e implementación de un sistema de medición de temperatura para arreglos fotovoltaicos

Bryan Steven Angel Lopez

José Miguel Henao Cardona

Tecnología En Sistemas Electromecánicos

Luz Adriana Trejos Grisales

Bonie Johana Restrepo Cuestas

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**Fecha: 18/11/2021**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

En el presente trabajo se llevó a cabo el diseño y el montaje de un sistema de medición de temperatura para un arreglo fotovoltaico de 3x3. El sistema fotovoltaico se encuentra ubicado en el laboratorio de electrónica y energías renovables (Parque i – Sede Fraternidad). El diseño se realizó considerando que la implementación estará expuesta a condiciones ambientales como humedad, cambios en la temperatura ambiente, polvo, lluvia, los cuales pueden afectar el funcionamiento de los sensores. Por lo tanto, después de realizar una búsqueda tanto a nivel académico como comercial, se seleccionaron termocuplas tipo K, para la medición de temperatura a nivel de cada panel en el arreglo.

Así mismo se implementó una etapa de validación de mediciones que registran con cierta precisión los datos obtenidos por diferentes sensores, para definir cuál es el rango de desviación de temperatura que alcanzan los sensores en el arreglo 3x3. Luego, los datos adquiridos fueron transferidos inalámbricamente a un ordenador para posteriormente almacenarlos en un software que permite graficar la temperatura en tiempo real. Finalmente, la herramienta permite exportar los datos almacenados a extensiones compatibles con MATLAB o a cualquier otro programa que otorgue maniobrabilidad con dichos datos.

*Palabras clave:* temperatura, software, condiciones ambientales, sensores, programación, recepción de datos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

En el desarrollo de este producto de laboratorio es nuestro deseo agradecer a las asesoras de proyecto de grado, las docentes Luz Adriana Trejos Grisales y Bonie Johana Restrepo Cuestas por la disposición y confianza que nos otorgaron a la hora de llevar a cabo este proyecto de grado, así mismo queremos agradecer el tiempo, compromiso y apoyo que nos brindaron a lo largo del proyecto, por sus aportes y paciencia. Adicionalmente deseamos agradecer a la estudiante de maestría y docente de cátedra Mariana Durango Flores por su colaboración y aporte en la realización de este proyecto.

Agradecemos profundamente a nuestras familias por todo el apoyo que recibimos a lo largo del proyecto y de nuestra carrera, ya que sin ellos hubiese sido muy difícil obtener los resultados que hoy obtuvimos.

Agradecemos al semillero de optimización y programación realizado por el docente Luis Fernando Cardona Grisales pues nos dio claridad sobre ciertos tips para la programación que fueron empleados a lo largo de este proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# ACRÓNIMOS

Abreviatura	Término
IDE	Ambiente de desarrollo integrado
FBG	Sensores de rejilla de Bragg de fibra
GND	Ground (Tierra)
VCC	Positive Supply (Fuente de alimentación)
SCK	Serial Clock input (reloj serie)
CS	Chip Select (Seleccionador de Chip)
SO	Serial Data Output (Salida de datos en serie)
SPI	Serial Peripheral Interface (Interfaz Periférica Serial)
TX	Transmisión
RX	Recepción
RTD	Sensor de temperatura resistivo
ADC	Conversor Análogo Digital
Mhz	Mega Hertz
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying (Modificación por desplazamiento de frecuencia gaussiana)
PWM	Pulse Width Modulation (Modulación de ancho de pulso)
AT	Attention (Atención)
SPP DEV	Serial Port Profile Device (Dispositivo de perfil de puerto serie)

Símbolo	Término	Unidad en SI
A	Amperio	A
V	Voltios	V
W	Vatios	W
mm	Milímetros	mm
cm	Centímetros	cm
ms	Milisegundos	ms

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cr	Cromo	Adimensional
Ni	Níquel	Adimensional
Al	Aluminio	Adimensional
Pt	Platino	Adimensional
Fe	Hierro	Adimensional
Cu	Cobre	Adimensional

**Símbolos con letras griegas**

$\Omega$	Ohmios
----------	--------

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	11
1.1.	Generalidades .....	11
1.2.	Objetivos.....	12
1.2.1.	Objetivo General.....	12
1.2.2.	Objetivos Específicos .....	12
1.3.	Organización de la tesis .....	12
2.	MARCO TEÓRICO .....	14
2.1.	El Arduino .....	14
2.1.1	El Arduino Nano .....	15
2.1.2	El Arduino uno.....	15
2.1.3	El Arduino Mega .....	16
2.2	Sensores de temperatura .....	17
2.2.1	LM35 .....	18
2.2.2	PT100 .....	19
2.2.3	Las termocuplas.....	20
2.2.3.1	Las termocuplas tipo J .....	21
2.2.3.2	Las termocuplas tipo K.....	22
2.2.3.3	Efecto Thomson.....	23
2.2.3.4	Efecto Peltier .....	23
2.2.3.5	Efecto Seebeck .....	24
2.3	Convertor Análogo Digital .....	24
2.3.1	Módulo para termocupla MAX6675 .....	25
2.4	Fenómenos térmicos .....	26
2.4.1	Transferencia de calor .....	26
2.4.2	Conducción.....	26
2.5	Comunicación Inalámbrica.....	27
2.5.1	Receptor USB bluetooth PC 2.0.....	27
2.5.2	Receptor USB bluetooth PC 4.0.....	28
2.5.3	El módulo de bluetooth HC-05 .....	29

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.5.4	El módulo de bluetooth HC-06.....	30
2.6	Fuente de alimentación para Arduino.....	31
2.7	Almacenamiento de datos.....	32
2.7.1	El PLX_DAQ.....	32
3.	<b>METODOLOGÍA</b> .....	34
3.1	Instalación de sensores .....	35
3.2	Configuración del módulo HC-05 .....	36
3.3	Puesta a punto en la caja de conexiones.....	38
3.4	Procedimiento de energización. ....	41
4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	50
4.1	Información preliminar para para la instalación de los sensores. ....	50
4.2	Incertidumbre en los sensores de contacto .....	51
4.3	Selección de dispositivo de medición de temperatura .....	51
4.4	Estimado de gastos.....	53
4.5	Resultados de adquisición de datos .....	53
4.6	Comparativo con otros instrumentos de medición.....	55
4.7	Exportación de datos a Matlab .....	67
5.	<b>CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO</b> .....	68
5.1	Conclusiones .....	68
5.2	Recomendaciones y trabajo futuro .....	69
	<b>REFERENCIAS</b> .....	70
	<b>APÉNDICE</b> .....	72
	<b>APENDICE A</b> .....	72
	<b>APENDICE B</b> .....	72
	<b>APENDICE C</b> .....	75

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Arduino Nano. Imagen tomada de (MCI electronics, s.f.).....	15
Figura 2.	Arduino Uno. Fuente: Autores. ....	16
Figura 3.	Arduino Mega 2560. Fuente: Autores. ....	16

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 4. Sensor de temperatura LM35. Imagen tomada de (Cuihong , Wentao , Benhua , & Changyi , 2011). .....	19
Figura 5. Termocuplas tipo k más modulo MAX6675. Fuente: Autores. ....	22
Figura 6. Efecto Thomson. Imagen tomada de (SyZed, 2011).....	23
Figura 7. Efecto Peltier. Imagen tomada de (SyZed, 2011).....	24
Figura 8. Modulo para sensor MAX6675. Fuente: Autores.....	26
Figura 9. adaptador bluetooth para pc. Fuente: Autores. ....	28
Figura 10. Modulo bluetooth HC-05. Fuente: Autores. ....	30
Figura 11. Modulo bluetooth HC-06. Fuente: Autores. ....	30
Figura 12. Fuente de alimentación para Arduino Fuente: Autores. ....	31
Figura 13. PLX_DAQ. Fuente: Autores.....	33
Figura 14. Instalación de los sensores. Fuente: Autores.....	35
Figura 15. Caja de conexiones con cable guía de las termocuplas tipo K. Fuente: Autores .....	36
Figura 16. Circuito para configuración del HC-05. Fuente: Autores .....	37
Figura 17. Comandos AT en el monitor serie. Fuente: Autores. ....	38
Figura 18. Caja de conexiones. Fuente: Autores. ....	39
Figura 19. Circuito total del montaje. Fuente: Autores. ....	40
Figura 20. Caja de conexiones sellada y fuente de alimentación energizada. Fuente: Autores. ....	41
Figura 21. Configuración del bluetooth Fuente: Autores. ....	42
Figura 22. Visualización de puertos COM. Fuente: Autores.....	42
Figura 23. Pestaña de PLX_DAQ. Fuente: Autores.....	43
Figura 24. PLX_DAQ. Fuente: Autores.....	44
Figura 25. Configuración inicial para realizar la conexión en el Arduino IDE. Fuente: Autores. ....	45
Figura 26. Variación de la velocidad de toma de datos en milisegundos. Fuente: Autores. ....	45
Figura 27. Compilación de la programación. Fuente: Autores. ....	46
Figura 28. Carga de la programación. Fuente: Autores. ....	46
Figura 29. Verificación de carga de la programación. Fuente: Autores.....	47
Figura 30. Velocidad de transmisión de la programación. Fuente: Autores. ....	47
Figura 31. Configuración básica del PLX_DAQ. Fuente: Autores. ....	48

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 32. Toma de datos de los sensores. Fuente: Autores. .... 48

Figura 33. Guardado de archivos en formato xlsx. Fuente: Autores..... 49

Figura 34. Ubicación del dispositivo de medición en el campo fotovoltaico. Fuente: (Muñoz Escribano, y otros, 2018). .... 50

Figura 35. Circuito para medición de temperatura con termocupla tipo J. Fuente: (Corona Ramirez, Abarca Jimenez, & Mares Carreño, 2014) ..... 52

Figura 36. Grafica de tendencia Temperatura Vs Tiempo tomada del PLX\_DAQ. Fuente: Autores. .... 55

Figura 37. Multímetro más termocupla marca FLUKE 289. Fuente: Autores. .... 56

Figura 38. Cámara termográfica marca FLUKE TI450. Fuente: Autores..... 56

Figura 39. Imagen termográfica del sensor 1 tomado a las 11:00 am septiembre 23. Fuente: Autores. .... 58

Figura 40. Imagen termográfica del sensor 2 tomado a las 11:01 am septiembre 23. Fuente: Autores. .... 59

Figura 41. Imagen termográfica del sensor 3 tomado a las 11:02 am septiembre 23. Fuente: Autores. .... 59

Figura 42. Imagen termográfica del sensor 4 tomado a las 11:03 am septiembre 23. Fuente: Autores. .... 60

Figura 43. Imagen termográfica del sensor 5 tomado a las 11:04 am septiembre 23. Fuente: Autores. .... 60

Figura 44. Imagen termográfica del sensor 6 tomado a las 11:05 am septiembre 23. Fuente: Autores. .... 61

Figura 45. Imagen termográfica del sensor 7 tomado a las 11:06 am septiembre 23. Fuente: Autores. .... 61

Figura 46. Imagen termográfica del sensor 8 tomado a las 11:07 am septiembre 23. Fuente: Autores. .... 62

Figura 47. Imagen termográfica del sensor 9 tomado a las 11:08 am septiembre 23. Fuente: Autores. .... 62

Figura 48. Modulo graduado con un Angulo de 90°. Fuente: Autores. .... 63

Figura 49. Medición con termocupla del multímetro marca FLUKE 289. Fuente: Autores. .... 65

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## INDICE DE ECUACIONES Y TABLAS

Ecuaciones 1 y 2. Ecuaciones de tendencia de la temperatura en las pt100. Ecuaciones extraídas de (Jiguang , Yukun , & Hongyan , 2010).....	20
Tabla 1. Estimado de gastos generados durante la realización del proyecto. Fuente: Autores. ....	53
Tabla 2. Tabla de datos tomada del PLX_DAQ. Fuente: Autores. ....	54
Tabla 3. Datos para la comparación con cámara termográfica tomados del PLX_DAQ. Fuente: Autores.....	57
Ecuación 3. Porcentaje de error. Fuente: Autores. ....	58
Tabla 4. Resultados para comparación con termocupla del multímetro exportados del PLX_DAQ. Fuente: Autores. ....	65
Tabla 5. Tabla comparativa con la termocupla del multímetro más porcentaje de error. Fuente: Autores.....	65
Tabla 6. Tabla comparativa de los porcentajes de error. Fuente: Autores.....	66

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. Generalidades

La energía fotovoltaica (PV por sus siglas en inglés) es una de las formas de energía renovables que posee un avance considerable y gran aplicación en la actualidad. Por tal razón, es usual que diariamente se estudien metodologías para lograr una operación confiable en donde se aproveche de forma adecuada el recurso de radiación solar del lugar donde este ubicado un sistema PV. Una de las herramientas de mayor uso para el análisis de la operación de sistemas PV, son los modelos matemáticos computarizados. Estos modelos permiten predecir el comportamiento de arreglos PV ante condiciones de radiación y temperatura determinados, lo que permite estimar la cantidad de energía que el arreglo puede producir en dichas condiciones. Los modelos matemáticos que permiten predecir el comportamiento de sistemas PV, se alimentan de diferentes variables, siendo una de las más importantes la temperatura de los paneles del arreglo, ya que esta afecta la eficiencia de las celdas PV y por tanto incide directamente en la energía que puede generar el arreglo. Por esta razón, es importante contar con datos precisos de la medición de la temperatura en los paneles de un arreglo, más aún, es importante contar con herramientas que permitan automatizar la medición y el almacenamiento de datos para utilizarlos de forma eficiente en los modelos y algoritmos de predicción de energía.

Considerando lo mencionado, este proyecto desarrolló el diseño y la implementación de un sistema de medición de temperatura para un arreglo de 3x3 ubicado en el campus Fraternidad del ITM. El sistema cuenta con sensores que brindan una lectura precisa de la temperatura de cada panel. Además, se diseñó un sistema de adquisición que permite almacenar los datos en un equipo de cómputo para su uso en algoritmos de análisis del comportamiento de arreglos PV.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Con este trabajo se beneficiaron tanto a la línea de investigación de eficiencia energética del grupo de investigación Materiales Avanzados y Energía y la línea de electrónica y energías renovables del grupo de investigación Automática, Electrónica y Ciencias Computacionales. Con el desarrollo de este trabajo se obtuvo un sistema de medición de temperatura que puede ser replicable y adaptable a arreglos de otros tamaños. Esto facilitará la realización de las investigaciones pertinentes de las líneas de investigación relacionadas con sistemas PV.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

- Diseñar e implementar un prototipo de sistema de medición de temperatura para arreglos fotovoltaicos.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Seleccionar un dispositivo de medida basado en la revisión del estado del arte relacionada con sensores y equipos para la medición en sistemas PV.
- Diseñar la etapa de adquisición, acondicionamiento y transmisión de datos del sistema de medida.
- Desarrollar la plataforma de medición de temperatura y validarla experimentalmente.

## **1.3. Organización de la tesis**

Inicialmente en el marco teórico del presente informe se visualiza una consistente descripción acerca de los métodos de los distintos sistemas de medición de temperatura. Se toma como punto de referencia artículos de investigación relacionados, más específicamente de bases de datos suscritas por el ITM. De la información encontrada en los artículos de investigación se eligió el grupo de sensores de referencia. Por otro lado,

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

también se aborda el sistema adquisición de datos empleado para la medición temperatura del arreglo PV.

Por consiguiente, en la metodología, se dispone de una exhaustiva descripción de los procedimientos realizados para el cumplimiento de los objetivos planteados previamente. Tales como, la búsqueda efectuada en la literatura especializada, la instalación de los sensores, las condiciones a las que está expuesto el módulo, el procedimiento de energización realizado paralelamente con una comunicación inalámbrica, etc.

Posteriormente, se presentan los resultados y discusiones que describen de manera concisa el paso a paso de las actividades realizadas durante el tiempo predeterminado para la realización de este proyecto el cual tuvo una duración de 5 a 6 meses aproximadamente. Las actividades realizadas en el proyecto incluyen: la selección de los sensores más asequibles en el mercado, el diseño del sistema de instrumentación para la adquisición de datos, los esquemas electrónicos empleados, las simulaciones realizadas, el procedimiento de energización para puesta en marcha del sistema, el resultado de la recolección de datos y el comparativo con otros instrumentos de medición de temperatura en el arreglo fotovoltaico 3x3.

Finalmente, en las conclusiones se resaltan los principales hallazgos que se obtuvieron a lo largo de la implementación y realización del proyecto, los resultados más significativos, los inconvenientes, observaciones de los sensores y demás implementos electrónicos utilizados y las dificultades que a lo largo del proyecto se fueron presentando.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

La temperatura promedio que se presenta en un arreglo fotovoltaico PV es un factor importante en producción de energía. Como (Yu, y otros, 2021) menciona: Los arreglos fotovoltaicos pueden tener un funcionamiento con una baja efectividad luego de ser sometidos a cierta temperatura, lo cual es causado por un coeficiente térmico negativo. Por consecuencia, la medición de la temperatura en los arreglos fotovoltaicos (PV) es esencial para evaluar de manera precisa el comportamiento de un sistema fotovoltaico.

Los paneles solares son una de las fuentes de energía renovables más utilizadas, Sin embargo, la temperatura de funcionamiento del panel fotovoltaico tendrá una gran influencia en la potencia de salida del dispositivo y la duración de la batería (Yu, y otros, 2021). Es por eso por lo que teórica y experimentalmente para obtener una medición de la temperatura en cada panel, es necesario tener en cuenta las condiciones ambientales externas a las que estén sometidos los paneles, ya sea sombra, humedad o cualquier otro factor. Por lo que se sabe actualmente se tienen una gran gama de sensores que son comúnmente utilizados para una completa adquisición de datos de temperatura del módulo fotovoltaico, los cuales, se dividen ante todo en sensores infrarrojos térmicos, sensores de rejilla de Bragg de fibra (FBG) y sensores eléctricos (incluidos termopares, termistores, sensores de temperatura lineales monolíticos, etc.) (Yu, y otros, 2021).

### 2.1. El Arduino

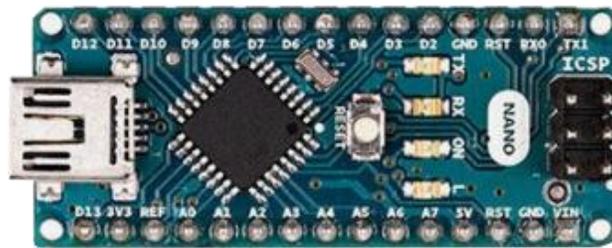
Este dispositivo es empleado actualmente como un microcontrolador y se utiliza para grabar de manera autónoma diferentes instrucciones utilizando el lenguaje de programación que comúnmente se utiliza en el entorno Arduino IDE, dicho programa es el que se emplea en el desarrollo de este proyecto dado a su fácil manipulación. Este dispositivo se puede definir como una plataforma de computación física de código abierto

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

basada en una placa de microcontrolador simple y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de procesamiento (Galadima, 2014). En general existen 3 tipos de microcontroladores Arduino comunes tanto en el mercado como a nivel educacional y estos son: el Arduino Nano, el Arduino Uno y el Arduino Mega 2560.

### 2.1.1 El Arduino Nano

Este es conocido como el dispositivo más compacto, basado en el principio de microcontrolador, pero a diferencia de sus dos sucesoras mencionadas anteriormente posee un número reducido de pines análogos y digitales, lo que posibilita su uso solo para proyectos de baja capacidad de uso, por lo tanto, este tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usando con PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión Mini-USB, terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo.

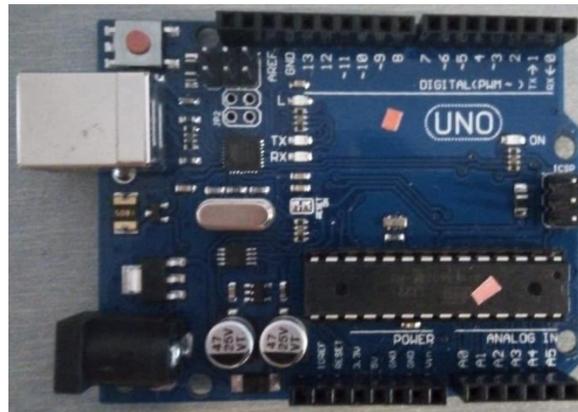


**Figura 1.** Arduino Nano. Imagen tomada de (MCI electronics, s.f.).

### 2.1.2 El Arduino uno

Este dispositivo a diferencia del Arduino nano posee más pines tanto digitales como analógicos y es más comúnmente utilizado en proyectos de bajo costo dado a su asequible precio en el mercado, lo que posibilita con este una alta gama de aplicaciones en cuanto a microcontroladores. El Arduino Uno posee un cristal de cuarzo de sincronización de 16 MHz, un conector USB, una fuente de alimentación y un cabezal ISCP, cuenta con 20 pines de E/S, con seis salidas digitales opcionales que funcionan como salidas PWM y seis pines variables.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 2.** Arduino Uno. Fuente: Autores.

### 2.1.3 El Arduino Mega

Este a diferencia de los dos mencionados anteriormente posee una amplia gama de pines tanto analógicos como digitales. Al igual que las versiones anteriores de Arduino es un microcontrolador, pero como se visualiza en la figura 3, este posee los suficientes pines digitales y analógicos para transmitir de manera eficiente cualquier programación empleada en el Arduino IDE a cualquier dispositivo electrónico. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, una fuente de alimentación, un conector ICSP, y un pulsador de reset.



**Figura 3.** Arduino Mega 2560. Fuente: Autores.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El Arduino tiene utilidades para el desarrollo de objetos interactivos, esto tomando las entradas para controlar salidas. Por ello los proyectos que se llevan a cabo con Arduino pueden tender a ser independientes o pueden simplemente comunicarse con el software que se ejecuta ya sea inalámbricamente o por medio del cable de conexión en una computadora (Galadima, 2014).

Considerando el objetivo de este proyecto, se requieren 9 sensores, por lo tanto, en este producto de laboratorio se empleó un Arduino mega 2560 dado a los múltiples pines que posee.

## 2.2 Sensores de temperatura

La temperatura es definida como una magnitud física intrínsecamente adherida a cualquier ambiente o ecosistema de un entorno habitable o no habitable, químicamente está constituida por moléculas que se encuentran en cualquier momento en constante movimiento. Por consiguiente, esta se define como la medida de la energía cinética media de las moléculas que la forman. Es decir, los movimientos de las partículas en su interior (Planas, 2016).

Por consiguiente, los sensores de temperatura se caracterizan por tener entradas análogas que entregan uno o más datos dependiendo de la función que tiene cada sensor y la magnitud física que va a medir en tiempo real. Muchas veces son utilizados en proyectos electrónicos de bajo costo como método de aprendizaje en circuitos electrónicos análogos y digitales, pero concretamente un sensor electrónico se define como un dispositivo que transforma una cantidad física (temperatura, posición, intensidad de la luz, etc.) en una cantidad eléctrica (a menudo un voltaje) que luego puede integrarse en una cadena de procesamiento de señales (AreaTecnologia, s.f.).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 2.2.1 LM35

Este sensor electrónico realiza una medida tal que su temperatura es proporcional a el voltaje que este sensor entrega, además de ser el sensor electrónico más popular porque inclusive midiendo el voltaje con un multímetro se puede hacer una relación de transformación de voltaje a temperatura fácilmente y además es uno de los sensores electrónicos más comerciales por lo que se encuentra en cualquier punto de venta electrónico.

Adicionalmente, posee mayormente una precisión y una gama mucho más extensa de trabajo lineal. El voltaje de salida que es generado por el LM35 es completamente lineal proporcional a la temperatura en grados Celsius, a temperaturas habituales, por lo que puede proporcionar una precisión común de  $\pm 1/4$  ° C de temperatura ambiente sin que se tenga la necesidad de una calibración adicional (Cuihong , Wentao , Benhua , & Changyi , 2011). Considerando que solo se utilizaría uno de los pines analógicos del Arduino mega, es factible utilizarlo para proyectos de esta gama para la medición de temperatura por prolongado tiempo, por otro lado, es importante resaltar las características básicas de este las cuales serían:

- Un voltaje de funcionamiento de aproximadamente 4 ~ 30 V
- Una corriente de trabajo de al menos de 133  $\mu$ A
- Un voltaje de salida de + 6V ~ 1.0V
- Una impedancia de salida con una carga de 1 mA 0,1  $\Omega$
- Una precisión de medición de 0,5 ° C (en + 25 ° C)
- Rango de temperatura de medición: 0 ~ 100 ° C

(Cuihong , Wentao , Benhua , & Changyi , 2011).



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

interactúan con altas temperaturas, es importante aclarar que estos son diseñados en 2 o 3 hilos lo que amplia o reduce su rango de medición, para estos sensores tendremos las siguientes ecuaciones de relación de temperatura en cuanto varia la resistencia:

$$R_{PT100} = R0 + [1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3(t - 100)] \quad - 200^{\circ}\text{C} < t < 0^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

$$R_{PT100} = R0(1 + \alpha t + \beta t^2) \quad 0^{\circ}\text{C} < t < 850^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

**Ecuaciones 1 y 2.** Ecuaciones de tendencia de la temperatura en las pt100. Ecuaciones extraídas de (Jiguang , Yukun , & Hongyan , 2010).

En estas ecuaciones tenemos  $R_{PT100}$  como la resistencia medida entre los hilos de la PT100,  $R0$  esta es la resistencia inicial con la que viene la PT100 establecida por el fabricante, es decir,  $100 \Omega$ ,  $\alpha$  es considerado como el coeficiente de temperatura el cual tiene un valor de  $3.9083\text{E-}3$ ,  $t$  es el incremento o decrecimiento de la temperatura,  $\beta$  es una variable cuyo valor es de  $-5.775\text{E-}7$  y finalmente  $\gamma$  también es una variable cuyo valor es  $-4.183\text{E-}12$ .

### 2.2.3 Las termocuplas

Estas son también llamadas termopares, por lo que se sabe, actualmente se visualizan estos instrumentos de medición de temperatura como indispensables en los procesos industriales ya sean metalúrgicos, químicos, energéticos o de maquinaria dado a que estos constituyen un porcentaje elocuente en el mercado mundial de los instrumentos de medición. Los procesos industriales de medición de temperatura por medio de termocuplas son de gran importancia dado a que, dicha variable posee una gran relevancia fundamental. Por ello, es imprescindible disponer de una medición muy exacta y precisa, porque si no de otro modo, las temperaturas imprecisas pueden acarrear graves consecuencias, como la reducción de la vida útil del dispositivo que está siendo utilizado, así como de la propia termocupla si sufre un sobrecalentamiento, datos erróneos y por ende mal diagnóstico en el proceso de recolección de datos, etc. Es por esta razón que los sensores de temperaturas son importantes en la industria.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

De acuerdo con la información del párrafo anterior se define una termocupla como uno de los dispositivos de medición de temperatura más simples, robustos y de fácil adquisición en el mercado dado a que estos son comúnmente utilizados en diversos procesos industriales. Este sensor es elaborado a partir de dos alambres de diferentes materiales que están fabricados de tal manera que se unen en un extremo mediante soldadura. Por consiguiente, al tener un incremento o un descenso de la temperatura en el punto de intersección de ambos extremos se genera un voltaje muy pequeño, como resultado del efecto Seebeck, del orden de los milivoltios, que aumenta a la par de la temperatura (industrial, JM, s.f.). Por lo general una termocupla se encuentra encapsulada al interior de un tubo de acero inoxidable, dentro de este tubo se tiene en un extremo la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, el cual está protegido adentro de una caja redonda de aluminio. Adicionalmente durante el proceso de recolección de temperatura efectuado por una termocupla se presentan tres fenómenos físicos los cuales son: efecto Thomson, efecto Peltier y efecto Seebeck.

### 2.2.3.1 Las termocuplas tipo J

Este es un sensor de temperatura de alta precisión, por lo que se sabe dicha termocupla está diseñada con un alambre de hierro y otro de constantán (aleación de cobre y nickel) y generalmente tiene aplicaciones ante todo en la industria del plástico, goma y en la fundición de metales a bajas temperaturas. Las termocuplas de este tipo tienden a tener utilidades satisfactorias para su uso constante sometidas en atmósferas con alta oxidación, reductoras e inertes y en vacío. Los termopares tipo J tienen un rango de funcionamiento de (-40 ° C a + 750 ° C) y tienen una sensibilidad de aproximadamente 50  $\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$  (Mehta & Chatterjee, 2019). Como finalidad de este proyecto las termocuplas tipo J pueden ser utilizadas para este mismo gracias a su bajo costo y ergonomía en condiciones ambientales externas, por lo que estas vienen con ciertas características de acuerdo con el proveedor.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 2.2.3.2 Las termocuplas tipo K

Esta es llamada también la termocupla Chromel-Alumel, pues como característica principal se observa que es la más utilizada a nivel industrial, se sabe que este es una clase de sensor de tipo transductor que pone en marcha dos metales distintos que generan un notable diferencial de potencial, el cual es la diferencia de temperatura que se tiene entre uno de los extremos denominado técnicamente como punto caliente y el otro como punto frío. Esta posee niveles de resistividad de temperatura mucho mayores a la termocupla tipo j por ello es utilizada a nivel industrial dado a su estabilidad y sus componentes puesto que pueden utilizarse en condiciones ambientales oxidantes tales como humedad, lluvia, etc. Adicionalmente, el termopar tipo K debe calibrarse ya que los valores de temperatura medidos por quince termopares son diferentes, aunque se sumergen en el mismo aceite calentado (Singh, Kumar, & Chand Prasad, 2016). Por lo tanto, una buena calibración es un factor clave para la obtención de datos idóneos en las termocuplas tipo k.

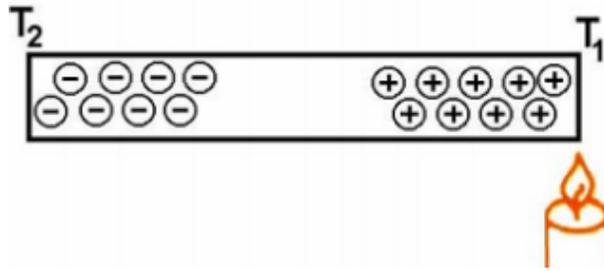


**Figura 5.** Termocuplas tipo k más modulo MAX6675. Fuente: Autores.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 2.2.3.3 Efecto Thomson

Este efecto consta de la impregnación o emancipación de calor generada por parte de un conductor eléctrico homogéneo, esto es posible con una distribución de temperaturas no homogénea, por el que circula una corriente, dicho de otra manera, una diferencia de temperatura está relacionada con una diferencia de voltaje cuya magnitud y signo dependen únicamente del material metálico que se es utilizando.

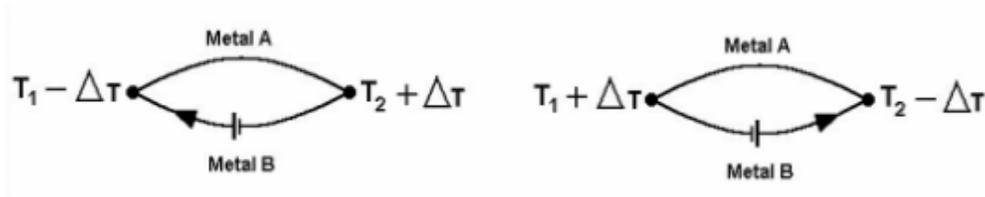


**Figura 6.** Efecto Thomson. Imagen tomada de (SyZed, 2011).

### 2.2.3.4 Efecto Peltier

Es un efecto que posee un principio de incremento o deceso de la temperatura en una unión entre dos conductores distintos, esto es posible al transcurrir una corriente eléctrica por ella, por lo que esta tiene una dependencia únicamente de la composición y temperatura de la unión. Es preciso afirmar que dicho efecto se caracteriza por tener cierta consistencia, cuando pasa el material metálico una corriente eléctrica, esta corriente fluye por medio de los materiales de los que están constituidos las termocuplas en su interior, por lo que, se libera o absorbe calor. Por otro lado, cuando la corriente eléctrica fluye en el mismo sentido que la corriente Seebeck, el calor generado es absorbido en la juntura caliente y liberado en la juntura fría.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 7.** Efecto Peltier. Imagen tomada de (SyZed, 2011).

### 2.2.3.5 Efecto Seebeck

Este efecto tiene como característica una consistente conversión un diferencial de calor en electricidad. Dado a esto se genera un voltaje en presencia de una diferencia de temperatura en la que interactúan dos metales o semiconductores de diferente material. Es por esta razón que, si se unen dos alambres de materiales de diferentes constituciones formando un circuito, habrá una tendencia a presentarse una corriente eléctrica, esto es posible cuando las juntas se encuentran en un rango de temperatura diferente. Esto es debido a la combinación de los dos efectos anteriores (SyZed, 2011).

## 2.3 Conversor Análogo Digital

Este dispositivo tiene como función principal la conversión analógica-digital, la cual tiende a ser mediante sensores de diferentes magnitudes y variables, esto empleado en cualquier placa de Arduino con la finalidad de poder visualizar todos los valores de sensores disponibles en el mercado. Al trabajar con este tipo de dispositivos el voltaje máximo que con el que pueden trabajar es de 5V, debido a que es el máximo generado en cualquier placa de Arduino o inclusive si se conecta una fuente de poder auxiliar. Por lo tanto, la tarea del conversor ADC es:

- Muestreo de la señal analógica
- Cuantización de la propia señal
- Codificación del resultado de la cuantización, en código binario (Rosero, 2019).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 2.3.1 Módulo para termocupla MAX6675

De acuerdo con lo anterior este es un conversor análogo digital, específicamente diseñado para las termocuplas tipo k, con el cual se pretende convertir la señal análoga de dicho sensor en una señal digital, todo esto se hace energizando el módulo MAX6675 a 5 V y con la tierra (GND), adicionalmente a esto tenemos tres puertos los cuales son respectivamente el SO(Serial Data Output), el SC(Chip Select) y el SCK (Serial Clock input “reloj serie”), es gracias a estos que se realiza la conversión de la variable de la temperatura de dichas termocuplas tipo k a cualquier microcontrolador mencionado anteriormente. Este módulo implementa la compensación y linealización de la respuesta de la termocupla con un ADC, Tiene una resolución de 0.25°C y el rango de uso de la tarjeta es de 3.0 a 5.5V. La temperatura de operación de la tarjeta es de 0 a 80°C (Electronics, s.f.). Se debe tener expreso cuidado con este módulo dado a la complejidad y el tamaño de este esto debido a que puede presentar daños si es expuesto a condiciones tales como humedad polvo o un exceso de temperatura que puede dañar severamente dicho módulo. Entre sus características principales tenemos (SERVOTRONIK, s.f.):

- – Interfaz compatible con SPI solo lectura.
- – Resolución de 12 bits, 0.25 grados centígrados.
- – Precisión:  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$
- – Medición hasta 1024 grados centígrados.
- – Alimentación de 3.3 a 5 volts.
- – Temperatura de medición:  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $85^{\circ}\text{C}$
- – Frecuencia de reloj SPI máxima F<sub>scl</sub> 4.3 Mhz.
- – Tiempo de conversión 0.17 s máximo 0.22 segundos.
- – Consumo máximo de 1.5 mA
- – Dimensiones: 25mm x 15mm x 13mm

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 8.** Modulo para sensor MAX6675. Fuente: Autores.

## 2.4 Fenómenos térmicos

Estos son definidos como aquellos fenómenos que están intrínsecamente relacionados con la emisión y la absorción del calor generada a partir de dos o más superficies en contacto, dependiendo de su estado básico en la materia, es decir, solido, liquido o gaseoso. Así como también, el material de todas las superficies, en el presente trabajo únicamente nos centramos en los siguientes fenómenos térmicos:

### 2.4.1 Transferencia de calor

Este es un fenómeno físico que consiste en generar un gradiente termodinámico, lo cual se presenta cuando tenemos dos o más sistemas con diferentes tasas de temperatura las cuales están en contacto. Dicho proceso incrementa progresivamente hasta llegar a un punto de equilibrio térmico, dicho de otra forma, hasta que la temperatura se regula en todas las superficies.

### 2.4.2 Conducción

Es conocida comúnmente como un medio de transferencia de calor que se da entre cuerpos que están interactuando en contacto directo entre sí, sin ningún tipo de flujo neto de materia, por lo tanto, esta es percibida como uno de los tipos más comunes de transferencia de calor térmica la cual permite que se transmita entre dos o más superficies en contacto debido al calor generado por una de estas superficies. Es claro enfatizar que la transferencia

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de calor por conducción depende de la “fuerza” impulsora de la diferencia de temperatura y la conductividad térmica (o la resistencia a la transferencia de calor) (Connor, 2020).

## 2.5 Comunicación Inalámbrica

Esta se caracteriza por facilitar una conexión a cualquier dispositivo a través de ondas de radio frecuencia (receptor/emisor) es por ello por lo que, en la actualidad cada vez es más común el uso de dispositivos de comunicación inalámbrica que eviten el uso excesivo de cables y faciliten la fácil manipulación de estos dispositivos, como es el caso de audífonos conectables a cualquier dispositivo que posea una interfaz bluetooth, envío y recepción de datos por módulos de wifi, etc. De acuerdo con la información anterior el presente informe se centra en un módulo de comunicación inalámbrica bluetooth asequible para cualquier computadora ya sea el:

- Receptor USB bluetooth Pc 2.0
- Receptor USB bluetooth Pc 4.0

Por otro lado, es necesario mencionar los dispositivos asequibles en el mercado que faciliten una conexión inalámbrica sencilla por medio del Arduino tales como:

- El módulo de bluetooth HC-05
- El módulo de bluetooth HC-06

### 2.5.1 Receptor USB bluetooth PC 2.0

Este es un dispositivo de comunicación inalámbrica compacto para enlazar cualquier dispositivo a una computadora, posee cierta capacidad de recepción y transmisión de datos por lo que permite la conexión con dispositivos de forma remota a través de Bluetooth. Tiene un precio mucho más asequible en el mercado no superior a los \$ 15.000 por lo que dentro de sus características se tienen:

- Perfiles: redes, acceso telefónico, fax, internet, Auriculares

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Sistema operativo: Windows 98 / 98SE / ME / 2000 / XP / 7/8 / 8.1 / 10
- Interfaz: USB
- Tasa: 3 Mbps
- Distancia: hasta 10 metros
- Entrada de energía: USB 5V

### 2.5.2 Receptor USB bluetooth PC 4.0

Al igual que el anterior dispositivo cumple las mismas funciones pues este tiene la capacidad de enlazar una computadora a cualquier dispositivo que posea una interfaz bluetooth, al igual que la transmisión y recepción de datos a cierta distancia, por lo general estos son de fácil obtención en el mercado y tienen un valor no mayor a \$ 30.000, adicionalmente a esto poseen unas características las cuales son:

- Sistema operativo: Windows 10 / XP / 7 / Vista / 2000 libre de controlador, Windows 8 si necesita instalar un controlador.
- Interfaz: USB
- Transferencia: 3 Mbps
- Distancia de Recepción: de 10 a 20 m



**Figura 9.** adaptador bluetooth para pc. Fuente: Autores.

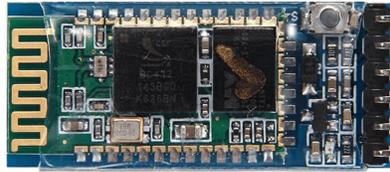
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 2.5.3 El módulo de bluetooth HC-05

Este es un módulo maestro/esclavo que es comúnmente utilizado en proyectos con microcontroladores tales como Arduino en los que se desea establecer una comunicación inalámbrica y realizar funciones básicas; es importante aclarar que este se configura mediante comandos AT. Para establecer una conexión inalámbrica es necesario utilizar un divisor de tensión en los pines TX y RX. Además, como característica visual se puede ver un led que indica si la conexión está siendo efectuada o no, así como también si está transmitiendo o recibiendo comandos del microcontrolador. Como características básicas se tienen:

- Voltaje de operación: 3.6V - 6V DC
- Consumo corriente: 50mA
- Bluetooth: V2.0+EDR
- Frecuencia: Banda ISM 2.4GHz
- Modulación: GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
- Potencia de transmisión: 4dBm, Class 2
- Sensibilidad: -84dBm a 0.1% VER
- Alcance 10 metros
- Interfaz comunicación: Serial TTL
- Velocidad de transmisión: 1200bps hasta 1.3Mbps
- Baudrate por defecto: 38400,8,1, n
- Seguridad: Autenticación y encriptación
- Temperatura de trabajo: -20C a +75C
- Compatible con Android
- Dimensiones: 37\*16 mm
- Peso: 3.6 gramos (SAC, s.f.).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 10.** Modulo bluetooth HC-05. Fuente: Autores.

#### 2.5.4 El módulo de bluetooth HC-06

Este es una versión reducida del HC-05, pues posee menos funciones, y viene por defecto de fabrica configurado como esclavo, por lo tanto, este no puede ser usado como maestro. Normalmente estos dispositivos se comunican con el Arduino a través del puerto serial. Es por ello por lo que, si se ha de programar una placa de Arduino, el módulo debe haber sido configurado y al igual que el HC-05 requiere un divisor de tensión entre los pines TX y RX los cuales deben ir cruzados al microcontrolador, es decir, el pin TX del HC-06 debe ir conectado al RX del Arduino y viceversa (SAC, Naylamp Mechatronics, s.f.).



**Figura 11.** Modulo bluetooth HC-06. Fuente: Autores.

Tenemos como características básicas:

- Voltaje de operación: 3.3V - 5VDC
- Corriente de operación: < 40mA
- Corriente modo sleep: < 1mA
- Chip: BC417143
- Bluetooth: V2.0+EDR
- Frecuencia: Banda ISM de 2,4 GHz
- Modulación: GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
- Potencia de emisión: 4 dBm, clase 2
- Sensibilidad: -84dBm a 0.1% VER

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Alcance 10 metros
- Interfaz de comunicación: Serial UART TTL
- Velocidad de transmisión: 1200bps hasta 1.3Mbps
- Baudrate por defecto: 9600,8,1, n
- Velocidad asíncrona: 2.1Mbps (máx.) / 160 kbps.
- Velocidad síncrona: 1Mbps/1Mbps
- Seguridad: Autenticación y encriptación
- Compatible con Android
- Dimensiones: 37\*16 mm
- Peso: 3.2 gramos

## 2.6 Fuente de alimentación para Arduino.

Este es conocido como un dispositivo electrónico que comúnmente actúa como fuente de alimentación o también como un adaptador, es un dispositivo que posee como característica un rectificador el cual transforma la señal AC en DC. Esta fuente se debe conectar a la red eléctrica esto con el fin de transformar y reducir el voltaje de alimentación para la realización de proyectos ante todo en ramas como la domótica, la automatización o en el caso de este proyecto en la toma de datos de sensores.



**Figura 12.** Fuente de alimentación para Arduino Fuente: Autores.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2.7 Almacenamiento de datos

Este es definido como el proceso por el cual se almacena la información que se llega a manejar manualmente o con la que interactúan los sistemas diariamente. La información recolectada tiende a grabarse y guardarse en soportes computacionales, por ello luego puede seguir siendo accesible. Es decir, los datos recolectados son almacenados en un dispositivo de almacenamiento que posea una interfaz gráfica con la cual se puedan visualizar. Es común que se utilice un almacenamiento de datos para para ampliar la capacidad de recolección que posee una computadora o un sistema los cuales pueden tener una poca capacidad de almacenamiento. Para el presente proyecto que actualmente está instalado en el laboratorio de electrónica y energías renovables es de vital importancia dado a que, dicho almacenamiento es apremiante para futuras investigaciones efectuadas sobre el módulo PV. Por las variables almacenadas de cualquier magnitud física, de acuerdo con las necesidades que se requieran es posible lograr una maniobrabilidad en cualquier interfaz o programa compatible con los datos almacenados.

### 2.7.1 El PLX\_DAQ

Este un complemento diseñado por Parallax que posee la función de interactuar únicamente con sensores a través del MICROSOFT EXCEL puede adquirir hasta una totalidad de 26 canales de datos desde el microcontrolador Parallax. Tiende a proporcionar un análisis sencillo en la hoja de cálculo del Excel con la cantidad de datos recolectados en el campo. Dicho de otra manera, este es una herramienta complementaria de adquisición de datos de microcontroladores Parallax para Microsoft Excel. Cualquiera de nuestros microcontroladores conectados a cualquier sensor y el puerto serie de una PC ahora pueden enviar datos directamente a Excel (Parallax, 2020).

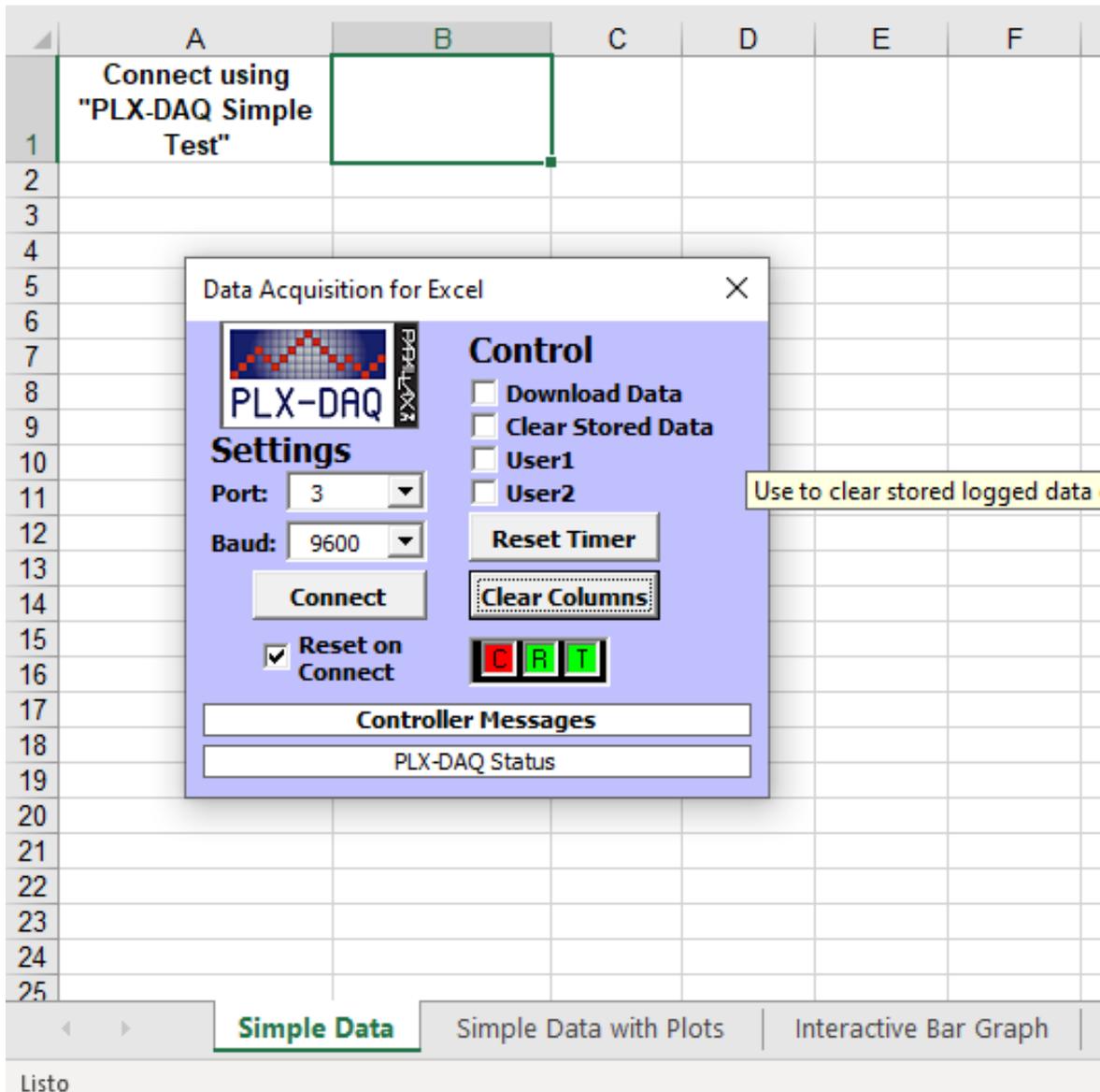


Figura 13. PLX\_DAQ. Fuente: Autores.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. METODOLOGÍA

Con el propósito de lograr un eficiente desarrollo del proyecto realizado se utilizaron las bases de datos de artículos científicos a las que se tiene acceso desde el ITM tales como IEEEExplore, ScienceDirect, eLibro, EBSCO host, etc. En la búsqueda de información en las bases de datos se identifican diversos prototipos de medición de temperatura para arreglos fotovoltaicos; por lo tanto, de acuerdo con estos prototipos se selecciona un instrumento de medición de temperatura viable para su instalación y de fácil adquisición en el mercado, para ser implementado en un arreglo PV de 9 paneles solares (esto es una matriz 3x3) que se encuentran en el laboratorio de electrónica y energías renovables. Se contó con la asistencia de la estudiante de maestría y docente de cátedra Mariana Durango y con las docentes asesoras Luz Adriana Trejos Grisales y Bonie Johana Restrepo Cuestas. A continuación, se listan las actividades desarrolladas en el proyecto:

- Inicialmente se realizó una búsqueda detallada en artículos, proyectos y tesis de grado, como también a nivel comercial, de información relacionada con sistemas de medida de temperatura de uso común en sistemas PV. De esta forma, a través del análisis de un conjunto de características (precio, exactitud, precisión, calidad, campo de medida, etc.), se seleccionaron los nueve dispositivos a usar para el arreglo PV 3x3.
- Es habitual encontrar distintos sistemas de medición para la obtención viable de la temperatura esto más que todo en la literatura especializada o en bases de datos adscritas por la universidad, para diferentes sensores análogos, es por ello por lo que, aparte de las pt100, las termocuplas o termopares tipo J y K son los sensores de temperatura más utilizados comúnmente en la industria o a nivel educativo.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Posteriormente se tomaron datos experimentales en las condiciones reales de instalación de los paneles del arreglo, esto con la finalidad de establecer una idea para el acoplamiento de las termocuplas tipo K de la forma más eficiente.
- Se instalaron físicamente los sensores de temperatura que actualmente están interactuando con los paneles, teniendo en cuenta su posición y la distancia mínima requerida para su maniobrabilidad en el módulo PV hasta la caja de conexiones.

### 3.1 Instalación de sensores

Se inicio con la instalación de los sensores los cuales fueron instalados en la parte posterior del módulo y fueron llevados a una caja de conexiones por medio de un cable de calibre 22 AWG de color rojo y negro, que fueron conectados a los extremos de la termocupla teniendo en cuenta la polaridad de estas (+) y (-); el cableado es llevado directamente a los módulos MAX6675 y se aíslan los extremos expuestos de la termocupla con termocongelante.



**Figura 14.** Instalación de los sensores. Fuente: Autores

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

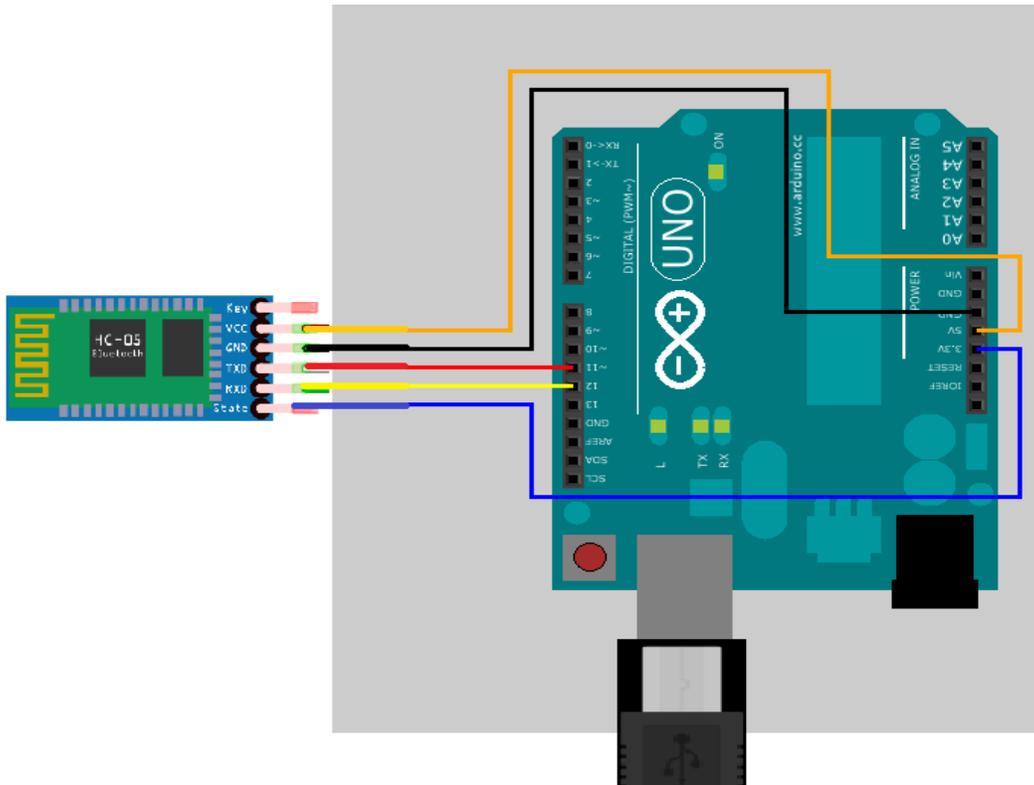


**Figura 15.** Caja de conexiones con cable guía de las termocuplas tipo K. Fuente: Autores

- Por consiguiente, se acondicionó la señal de los sensores para obtener una recepción idónea en el equipo de cómputo y de este modo se visualizaron los datos almacenados.
- Una vez acondicionada la señal de las termocuplas se configuró la conexión inalámbrica que se presenta actualmente entre el PC del laboratorio y el sistema implementado en el módulo PV, es decir, se plantea cual actúa como el emisor y cual dispositivo como el receptor de datos.

### 3.2 Configuración del módulo HC-05

Este módulo se configuró mediante comandos AT los cuales son conocidos por ser instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación que viene con ciertos parámetros fabricados y pueden ser modificados por el usuario o persona que esté trabajando con el módulo HC-05. Para acceder a los comandos AT se debe implementar el circuito mostrado en la siguiente figura:



**Figura 16.** Circuito para configuración del HC-05. Fuente: Autores

Será por medio de este circuito que con el Arduino IDE se programará la configuración del módulo de tal forma que este pueda operar con ciertas condiciones básicas fundamentales para establecer una conexión inalámbrica y transmitir los datos con una velocidad operativa. Para ello se empleará el código de programación incluido en el apéndice A de este informe, que es vital para configurar dicho modulo inalámbrico. Mediante el código de programación, una vez se haya compilado y subido al módulo, solo se debe abrir el monitor serial en el Arduino e ingresar los siguientes parámetros:

- AT //inicialmente para verificar que si este conectado en el modo AT
- AT+ORGL //Establece nuevamente la configuración de fábrica.
- AT+ROLE=0 //le indica al módulo que se comportara como esclavo
- AT+POLAR=1,0 //Configura el pin 32 a nivel bajo para hacer un reset al Arduino.
- AT+UART=115200,0,0 //Es velocidad de transmisión a la que siempre se graba el Arduino.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cuando el módulo HC-05 se configura con comandos AT tiende a tener una intermitencia en su led de repetición lenta, es así como se verifica que se está configurando con este modo. Entonces en la pantalla del monitor serie se presentarán los siguientes comandos con su respuesta:

```

AT
OK
AT+ORGL
OK
AT+ROLE=0
OK
AT+POLAR=1,0
OK
AT+UART=115200,0,0
OK

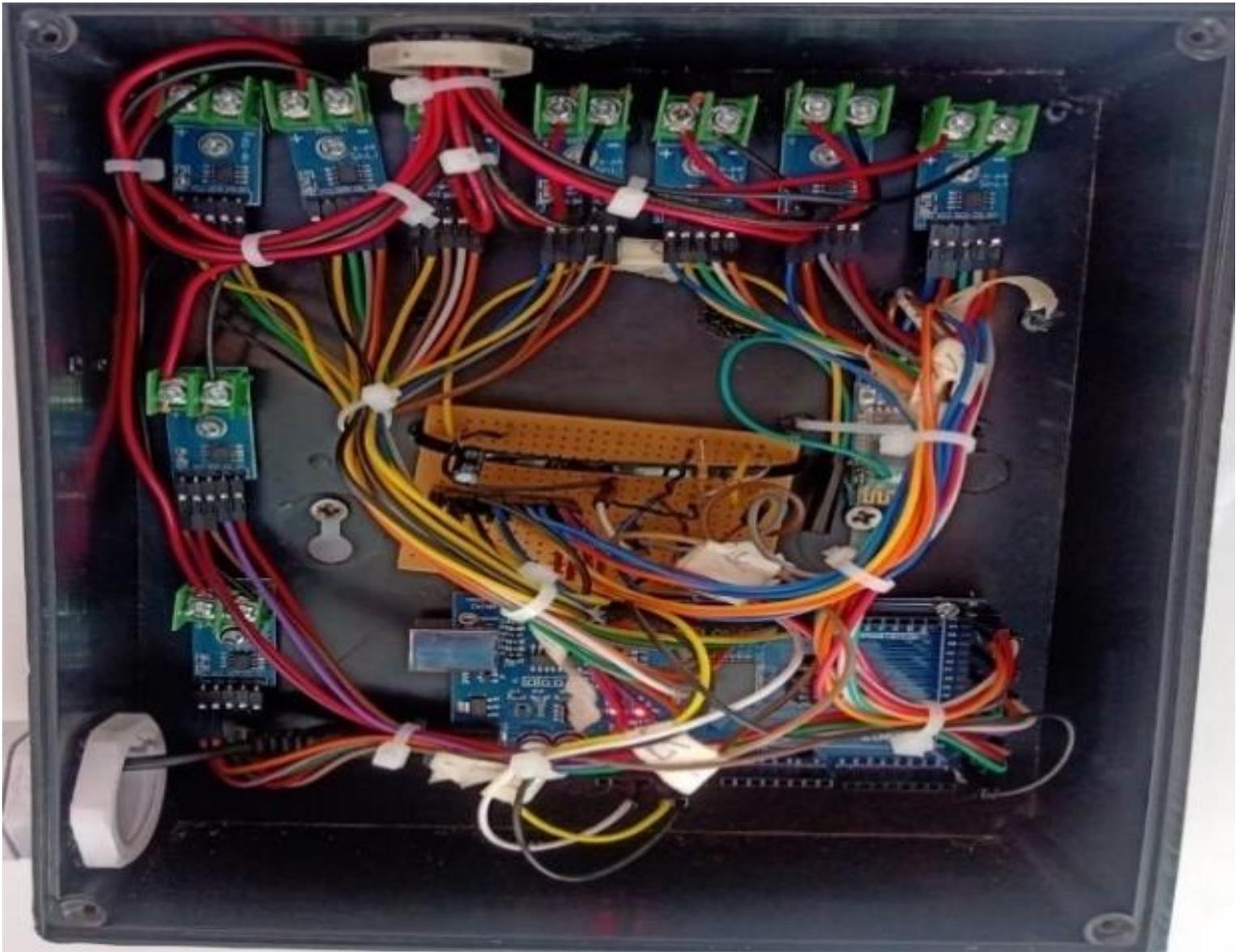
```

**Figura 17.** Comandos AT en el monitor serie. Fuente: Autores.

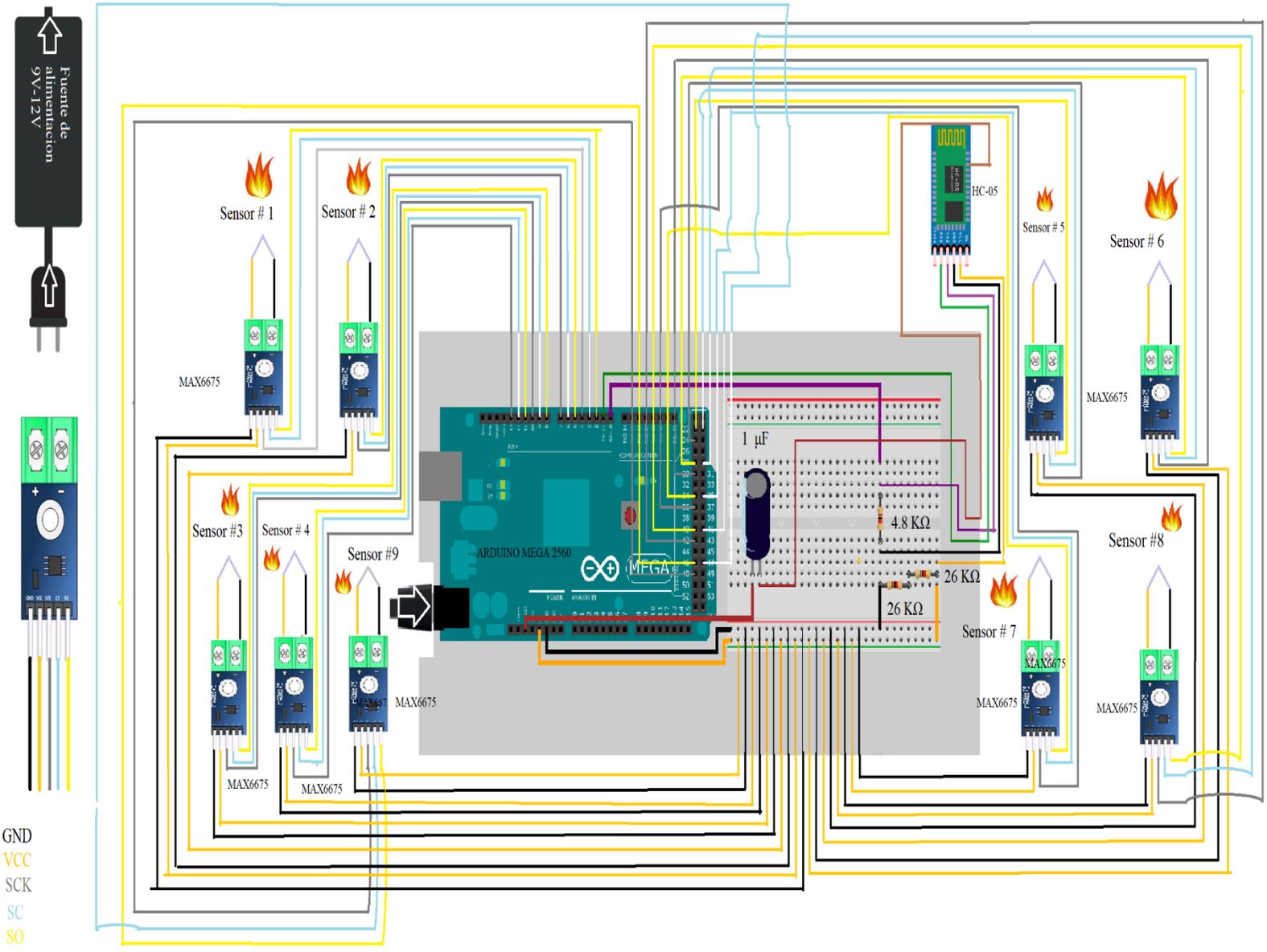
- Luego, una vez se estableció la conexión inalámbrica se culminaron las conexiones en la etapa acondicionadora del sistema de medición y se inicializo el sistema.

### 3.3 Puesta a punto en la caja de conexiones.

Se realizan las conexiones de los 9 módulos MAX6675 a él Arduino mega el cual es el dispositivo que actúa como parte acondicionadora del sistema, todo a través de cables macho-hembra. Por consiguiente, una vez configurado el módulo HC-05 con los parámetros suficientes para que pueda conectarse inalámbricamente como esclavo a cualquier dispositivo se conecta con el divisor de tensión hecho en una baquela para la transmisión de datos. Para ello es necesario implementar todo un circuito equivalente de manera ordenada para que los cables no sufran ninguna degradación y no se presenten daños en el sistema sobrecargas o se filtre humedad o polvo sobre la caja de conexiones, es por ello, que fue recomendable montar el circuito de la forma más ordenada posible como se muestra en las figuras 18 y 19:



**Figura 18.** Caja de conexiones. Fuente: Autores.



**Figura 19.** Circuito total del montaje. Fuente: Autores.

Como parte final del ensamblaje del sistema en la caja de conexiones se dejó predispuesto un puerto para la energización del sistema y se llevó a una extensión como se muestra en la figura 27 además de sellar completamente la caja la caja de conexiones:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

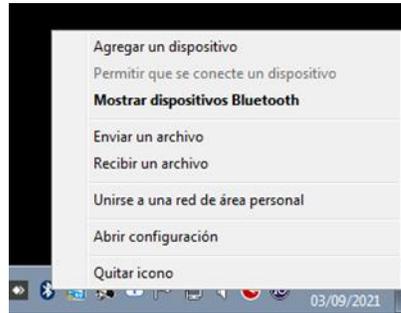


**Figura 20.** Caja de conexiones sellada y fuente de alimentación energizada. Fuente: Autores.

### 3.4 Procedimiento de energización.

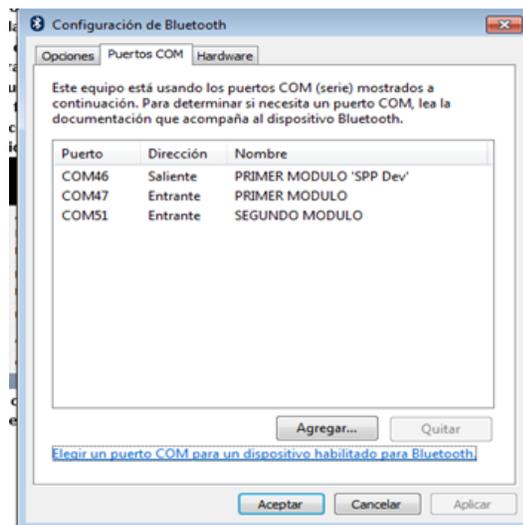
1. Inicialmente se debe mantener el módulo con la tapa, es decir, que a menos que sea necesario, no se debe desatornillar la caja donde se visualizarán las conexiones establecidas en la parte acondicionadora del proceso de recepción de temperatura, esto para evitar que haya desconexiones en los ADC o en el propio Arduino mega.
2. Se debe mantener todo el módulo fotovoltaico lo más cerca posible de la ventana del laboratorio de electrónica y energías renovables, esto mientras se compila la programación que iniciará la recepción de datos de los 9 sensores. Esto se debe a que factores como la distancia y obstáculos tienden a generar problemas en la conexión inalámbrica, el Bluetooth es más sensible que el Wi-Fi, la distancia, paredes, muebles y otros obstáculos de por medio tienden a afectar la conexión (Jimenez, 2019).
3. Se conecta el módulo de sensores o la caja negra la cual tiene su fuente de energía alrededor de la caja de conexiones, que se alimenta por 120 V, con una extensión.
4. Luego inicialmente conectaremos el módulo de bluetooth “CSR V4.0” a un puerto USB puede ser cualquiera preferiblemente cerca del botón de encendido del PC.

5. Posteriormente, se visualiza la configuración del módulo de bluetooth “CSR V4.0” en el PC para de esta forma saber en qué puerto debemos situar la programación en el ARDUINO IDE. Por consiguiente, damos clic derecho en el logo del bluetooth en la parte inferior del escritorio como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 21.** Configuración del bluetooth Fuente: Autores.

6. Una vez realizado el anterior paso se busca a la opción abrir configuración, posterior a esto nos debe aparecer una pestaña en la que se visualizan todos los puertos COM, es decir todos los puertos utilizados en el momento exacto por el módulo de bluetooth conectado en el PC. Con uno de ellos se determina qué puerto se utilizará, esto es importante debido a que cuando se acceda a la programación en el Arduino IDE será necesario saber en qué puerto está conectado el módulo de bluetooth CSR V4.0:



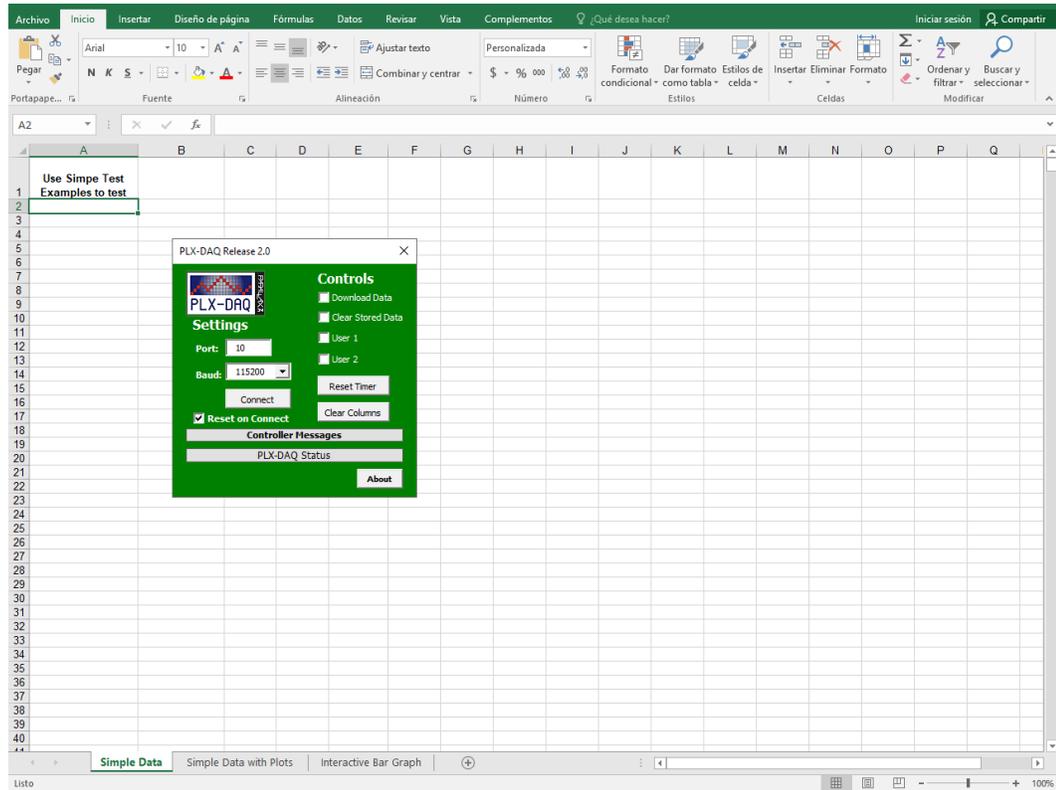
**Figura 22.** Visualización de puertos COM. Fuente: Autores.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

7. Posteriormente, se debe tener en cuenta que se está utilizando el primer módulo del HC-05, por lo tanto, se debe utilizar el puerto que tenga una dirección saliente o que tenga las siglas 'SPP Dev', en este caso el puerto 46 que a su vez depende del puerto USB en el que esté ubicado. Es importante tener en cuenta en caso de que se desee enlazar el HC-05 con un nuevo dispositivo mediante la interfaz bluetooth que este aparece como "PRIMER MODULO", así mismo con una contraseña de emparejamiento la cual es "1234".
8. Una vez hallamos concretado los pasos anteriores nos situamos en la carpeta "programación de sensores arreglo PV" ubicada en el escritorio en la cual encontraremos los archivos necesarios, tanto del Arduino IDE, así como también, del PLX\_DAQ. Por lo tanto, se emplea la programación establecida en el presente informe en el apéndice B. En añadidura a esto el programa PLX-DAQ\_R2 será:



**Figura 23.** Pestaña de PLX\_DAQ. Fuente: Autores.



**Figura 24.** PLX\_DAQ. Fuente: Autores.

Mediante esta interfaz de Excel es posible tener una correcta recepción de variables de temperatura de las termocuplas con un retraso de un 1 segundo entre cada toma de datos.

9. Es necesario mantener el módulo cerca de la ventana del laboratorio, esto por lo que se explicó anteriormente, una vez establecida dicha comunicación podrá maniobrase el módulo de paneles solares libremente, restringido únicamente por el cable de alimentación.

10. Luego, utilizamos en el archivo de Arduino IDE consignado en el apéndice B en la parte superior, el “COM 46” de acuerdo con lo expuesto anteriormente para establecer la comunicación inalámbrica.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 25.** Configuración inicial para realizar la conexión en el Arduino IDE. Fuente: Autores.

Es necesario configurar la placa para Arduino mega y el procesador tal y como aparece en la figura 26 en herramientas.

11. Para graduar el tiempo de adquisición de datos lo hacemos en la última línea de la programación expuesta en Arduino IDE y la cual estará expresada en milisegundos; esto con el fin de modificar el tiempo de recepción de datos a la hora de establecer la comunicación inalámbrica o en este caso compilar y cargar la programación con la que se pretende poner en marcha el sistema. Tener en cuenta esto cuando se haga la modificación de este.

```

Serial.print(sensor8);
Serial.print(",");
Serial.println(sensor9);
    delay(60000);
}

```

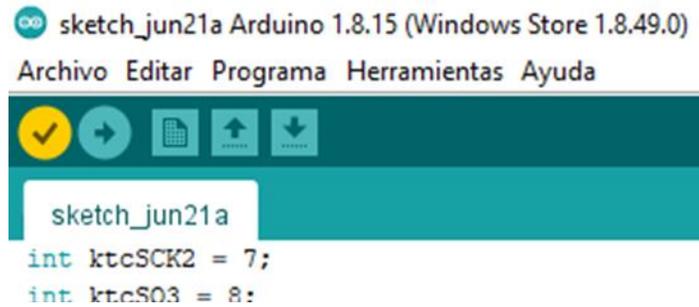
**Figura 26.** Variación de la velocidad de toma de datos en milisegundos. Fuente: Autores.

Esta variación en el gradiente del tiempo es primordial dado a que, por tener una conexión inalámbrica el mínimo de tiempo con el que puede funcionar el sistema

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

son 10 segundos y el tiempo máximo 30 minutos. Es decir, el tiempo de recepción entre dato y dato.

12. Luego vamos a compilar y a subir la programación con este puerto inalámbrico. Para ello verificamos la programación.



**Figura 27.** Compilación de la programación. Fuente: Autores.

Posteriormente subimos la programación:



**Figura 28.** Carga de la programación. Fuente: Autores.

Esto puede tardar unos momentos, por eso se recomienda mover el módulo PV lo más cerca posible para que la caja de conexiones y el módulo puedan establecer más rápidamente la conexión inalámbrica. Es recomendable cuando se vaya a iniciar un nuevo almacenamiento cambiar de puerto USB esto con el fin de que se reinicie la recepción por otro puerto.

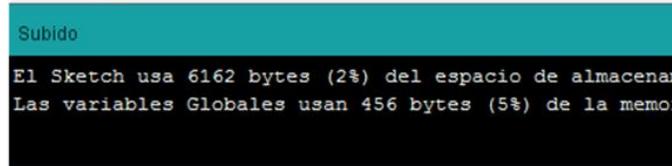
Una vez esta subida la programación debe aparecer de esta forma en la parte inferior izquierda:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

MAX6675_Thermocouple ktc1(ktcSCK1, ktcCS1, ktcSO1);
MAX6675_Thermocouple ktc2(ktcSCK2, ktcCS2, ktcSO2);
MAX6675_Thermocouple ktc3(ktcSCK3, ktcCS3, ktcSO3);
MAX6675_Thermocouple ktc4(ktcSCK4, ktcCS4, ktcSO4);
MAX6675_Thermocouple ktc5(ktcSCK5, ktcCS5, ktcSO5);
MAX6675_Thermocouple ktc6(ktcSCK6, ktcCS6, ktcSO6);

```



**Figura 29.** Verificación de carga de la programación. Fuente: Autores.

Esta parte es primordial debido a que, se establece la conexión entre el emisor y el receptor inalámbricamente, tras esto se puede inicializar la recolección de variables de temperatura.

13. Luego de esto en el PLX-DAQ\_R2 se selecciona la velocidad previamente expresada en la programación en la siguiente columna:

```

void setup() {
  // PREPARAR LA INTERFAZ SERIAL
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL, Fecha, Ho:");
  // ESPERAR MEDIO SEGUNDO
  delay(500);
}

```

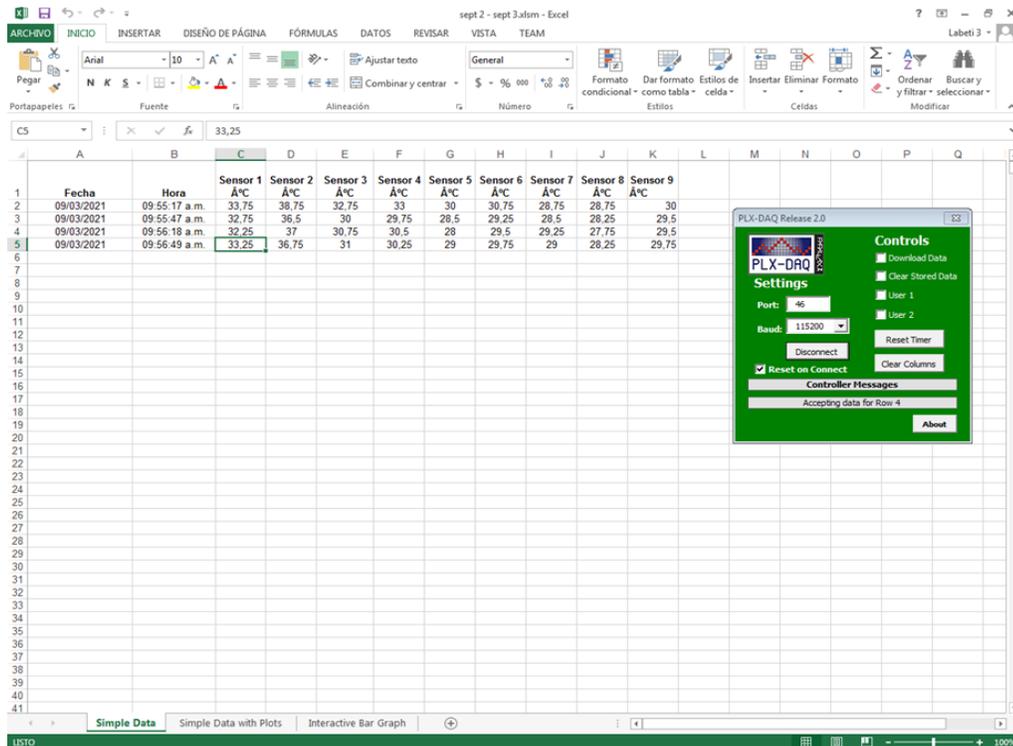
**Figura 30.** Velocidad de transmisión de la programación. Fuente: Autores.

Y se utiliza tanto una velocidad de 115200 baudios como se muestra en la figura 31, esto debido a que así fue configurado previamente el módulo HC-05, así como, el puerto anteriormente seleccionado en la programación el cual en este caso será el puerto 46 abriendo el PLX-DAQ\_R2 de esta forma:



**Figura 31.** Configuración básica del PLX\_DAQ. Fuente: Autores.

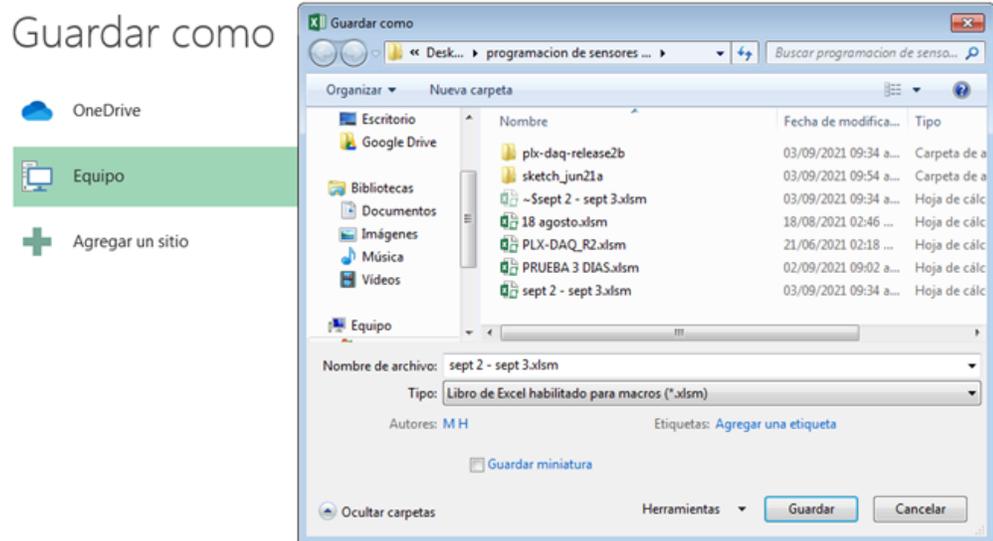
De acuerdo con lo establecido anteriormente y basándonos en la configuración mostrada en la figura 32 se elige la opción Connect y se iniciará la conexión inalámbrica y el almacenamiento de datos mediante este programa. Como se muestra a continuación en la figura 33 donde veremos una receptibilidad de 30 segundos entre dato y dato.



**Figura 32.** Toma de datos de los sensores. Fuente: Autores.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

14. Para almacenar los datos del PLX-DAQ\_R2 se procede a guardar el archivo como comúnmente se hace, este se guardará como un libro de Excel habilitado para macros así:



**Figura 33.** Guardado de archivos en formato xlsm. Fuente: Autores.

En caso de que el sistema no funcione luego de intentar subir la programación posterior del segundo intento desconectar el módulo, cambiar el puerto del módulo de bluetooth “CSR V4.0” y repetir todos los pasos. Esto con el fin de que se reinicie el Arduino. Se recomienda además una vez almacenados los datos de los sensores desconectar del puerto USB el módulo de bluetooth que va adherido a este dado a que tiende a recalentarse lo que puede propiciar un daño próximo y requeriría un repuesto.

- Se llevo a cabo la validación de las variables entregadas con otros dispositivos de medición de temperatura, así como también, se llevó a cabo una toma de datos durante determinado periodo tiempo, donde se comprobó la efectividad de los sensores en distintas condiciones ambientales y la capacidad máxima de censado del sistema.

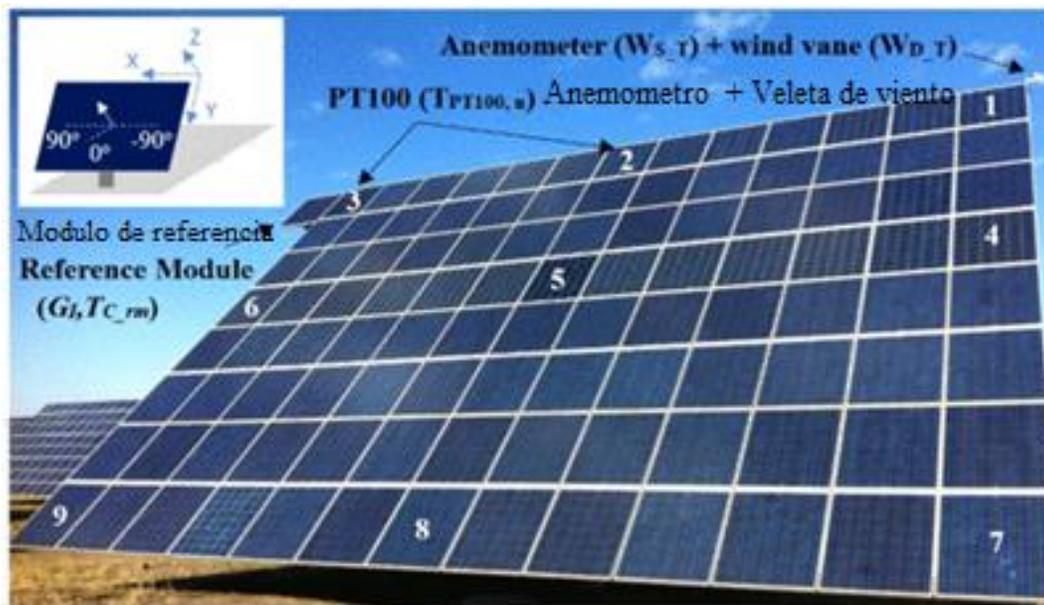
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y discusión de este trabajo se presentan en los siguientes numerales:

### 4.1 Información preliminar para para la instalación de los sensores.

Inicialmente como primer paso se realiza una investigación en la literatura que brinde claridad sobre el método de instalación de sensores en módulos PV más adecuada en términos de recolección de datos. De la búsqueda se obtiene que, para lograr una reducción de la incertidumbre, la norma internacional IEC-61829 tiene como innovadora propuesta realizar una medición de temperatura por medio de varios módulos fotovoltaicos (al menos tres módulos, cuyas temperaturas de funcionamiento sean representativamente de todo el campo fotovoltaico) instalando termopares en sus láminas posteriores. La norma estándar IEC 61853-1 recomienda fijar tres termopares a cada módulo para abordar la dispersión dentro del propio módulo (Muñoz Escribano, y otros, 2018).



**Figura 34.** Ubicación del dispositivo de medición en el campo fotovoltaico. Fuente: (Muñoz Escribano, y otros, 2018).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Por consiguiente, dado a las recomendaciones de este artículo se tiene claridad sobre la ubicación de los sensores, los cuales para no generar sombra sobre el arreglo fotovoltaico 3x3 de la universidad, se decide instalarlos en la parte posterior de los módulos. Es por esta información que también se seleccionan las termocuplas tipo K dado a su resistividad a condiciones ambientales, a la capacidad que tienen gracias a los módulos MAX6675 y a la temperatura promedio a la que opera dicho arreglo PV.

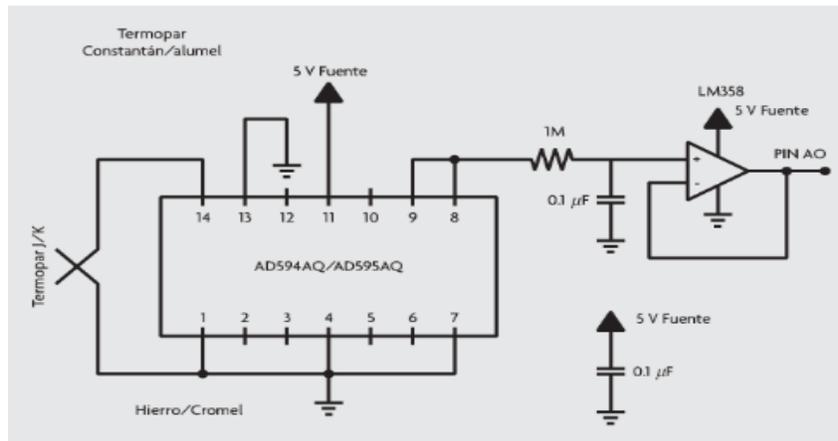
#### **4.2 Incertidumbre en los sensores de contacto**

Para condiciones similares de operación se llevó a cabo una revisión en la literatura acerca de las distintas perturbaciones a las que se ve sometido un sensor de contacto, que llegan a afectar ligeramente los datos medidos. Se halló que el problema principal con los sensores de temperatura de contacto es el hecho de que si el sensor no está únicamente en contacto físico con el cuerpo cuya temperatura mide, sino con algún otro cuerpo, o incluso el entorno, sus mediciones no serán del todo precisas (Jovanović, Jovanović, & Mančić, 2018). Por lo que la receptibilidad los sensores y la ubicación podría llegar a variar ligeramente por condiciones ambientales externas.

#### **4.3 Selección de dispositivo de medición de temperatura**

Por lo mencionado durante la metodología en este numeral se relaciona un sistema de medición de temperatura únicamente con un termopar para dar a entender cuál ha sido el punto de partida para la selección de los sensores de temperatura empleados y utilizados en el presente trabajo. Entonces como sistema de medición se tiene un circuito electrónico integrado con una termocupla tipo J conectado del mismo modo con un Arduino a un pin analógico:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 35.** Circuito para medición de temperatura con termocupla tipo J. Fuente: (Corona Ramirez, Abarca Jimenez, & Mares Carreño, 2014)

Cuyos materiales empleados son:

- Arduino Uno
- Circuito integrado AD594
- 1 Resistencia de  $1M\Omega$
- 1 amplificador operacional lm358
- 1 capacitor de  $0.1 \mu\text{f}$
- Termopar tipo J
- Fuente de alimentación de 5 V
- Termómetro de caratula con rango de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Alambre macho-macho 24 AWG
- Protoboard.

Como se visualiza en el circuito, se utiliza un pin Analógico para recibir los datos correspondientes de la termocupla al Arduino Uno, pero debido a la necesidad que tenía este trabajo de emplear 9 sensores no resulta factible por la capacidad del espacio que requeriría en la caja de conexiones, es por ello por lo que se empleó un ADC para reducir notablemente dicha capacidad por cada sensor. Debido a que son de fácil acceso en el mercado, fue mucho más viable adquirir termocuplas tipo K; las termocuplas tipo J, aunque

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

son comerciales no son tan fáciles de conseguir como el tipo K. Adicionalmente, estas vienen con un ADC en la mayoría de los casos en el mercado.

#### 4.4 Estimado de gastos.

Para los gastos efectuados en este proyecto se requirieron dos proveedores de dispositivos electrónicos dado a que ambos ofrecen cierta calidad en los sensores, módulos, microcontroladores y demás dispositivos empleados en la realización de este proyecto los cuales se enlistan a continuación con su respectivo precio y precio total estimado del mismo proyecto para el arreglo PV.

NOMBRE DISPOSITIVO	PRECIO
Arduino Mega 2560 + cable de conexión Micro-usb + Adaptador De Energía Arduino 5v 1a - Fuente 5v 1a Cargador	\$50.000 + \$15000 = \$ 65000
Extensión	\$ 8.800
Termocuplas tipo k más el módulo max6675 + Arduino uno + modulo wifi esp8266	\$91.000 + \$121.000 = \$ 212.000
Caja de conexiones Cables macho-macho	\$ 30.000 + \$ 12.000 = \$ 42.000
Modulo HC-05	\$ 20.000 + valor del envío (\$ 11.000) = \$ 31.000
Modulo bluetooth CSR V4.0	\$ 25.000
	Total: \$ 383.800

**Tabla 1.** Estimado de gastos generados durante la realización del proyecto. Fuente: Autores.

Los dispositivos vinieron con dos meses de garantía desde la obtención de estos mismos, así mismo en caso de requerir repuestos se deja a disposición de las asesoras del trabajo de grado el contacto de los proveedores para adquirir nuevos repuestos.

#### 4.5 Resultados de adquisición de datos

Se implementó el análisis de la variación del tiempo mínimo y máximo con el que se puede poner en marcha el sistema de adquisición de datos, lo que influye en la capacidad máxima de recolección de datos de temperatura, por lo tanto, tenemos como variables recolectadas:

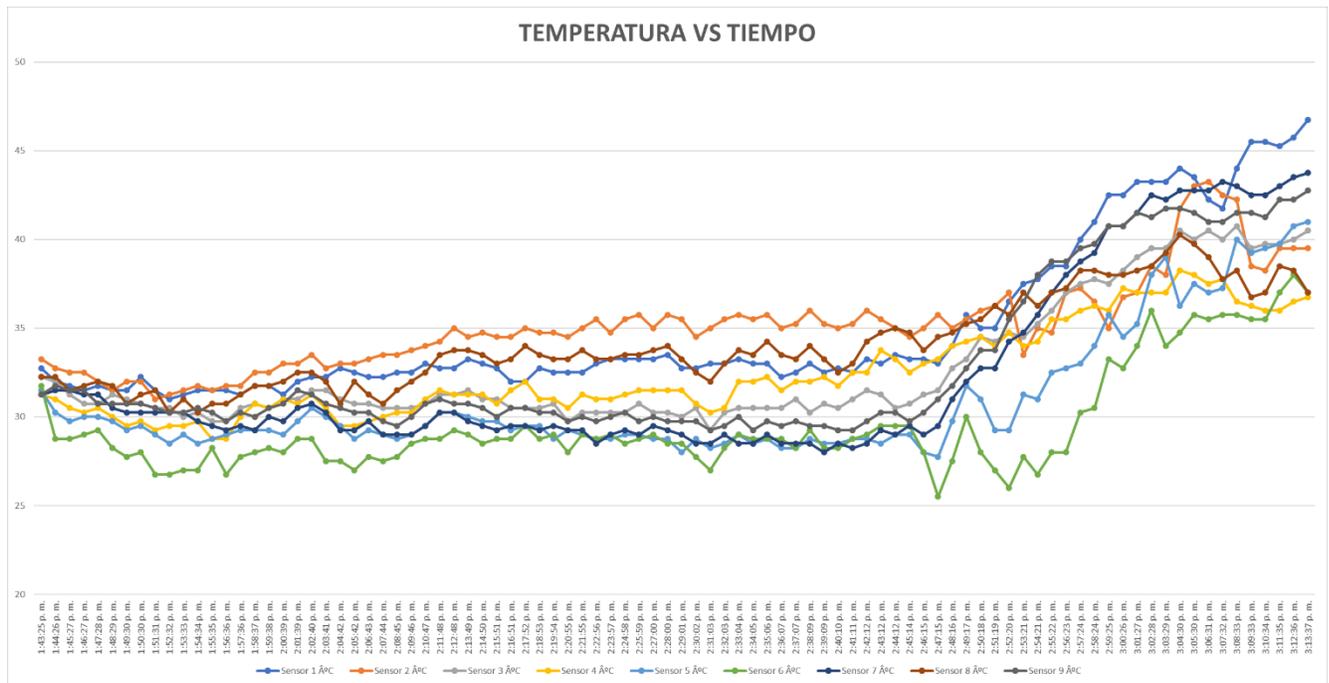
 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Fecha	Hora	Temperatura (°C)								
		Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8	Sensor 9
28/07/2021	1:43:25 p. m.	32,75	33,25	32,25	31,25	31,5	31,75	31,25	32,25	31,25
28/07/2021	1:44:26 p. m.	32	32,75	32	31	30,25	28,75	31,5	32,25	31,75
28/07/2021	1:45:27 p. m.	31,75	32,5	31,25	30,5	29,75	28,75	31,5	31,5	31,5
28/07/2021	1:46:27 p. m.	31,5	32,5	30,75	30,25	30	29	31,25	31,75	31,5
28/07/2021	1:47:28 p. m.	31,75	32	30,75	30,5	30	29,25	31,25	32	30,75
28/07/2021	1:48:29 p. m.	31,5	31,5	31,25	30	29,75	28,25	30,5	31,75	30,75
28/07/2021	1:49:30 p. m.	31,5	32	31	29,5	29,25	27,75	30,25	30,75	30,75
28/07/2021	1:50:30 p. m.	32,25	32	30,75	29,75	29,5	28	30,25	31,25	30,75
28/07/2021	1:51:31 p. m.	31,5	31	30,5	29,25	29	26,75	30,25	31,5	30,5
28/07/2021	1:52:32 p. m.	31	31,25	30,5	29,5	28,5	26,75	30,25	30,25	30,25
28/07/2021	1:53:33 p. m.	31,25	31,5	30	29,5	29	27	30,25	31	30,25
28/07/2021	1:54:34 p. m.	31,5	31,75	30,25	29,75	28,5	27	29,75	30,25	30,5
28/07/2021	1:55:35 p. m.	31,5	31,5	29,75	28,75	28,75	28,25	29,5	30,75	30,25
28/07/2021	1:56:36 p. m.	31,5	31,75	29,75	28,75	29	26,75	29,25	30,75	29,75
28/07/2021	1:57:36 p. m.	31,25	31,75	30,5	30	29,25	27,75	29,5	31,25	30,25
28/07/2021	1:58:37 p. m.	31,75	32,5	30,75	30,75	29,25	28	29,25	31,75	30
28/07/2021	1:59:38 p. m.	31,75	32,5	30,5	30,5	29,25	28,25	30	31,75	30,5
28/07/2021	2:00:39 p. m.	31,25	33	31	31	29	28	29,75	32	30,75

**Tabla 2.** Tabla de datos tomada del PLX\_DAQ. Fuente: Autores.

Por consiguiente, como intervalo mínimo de recolección de acuerdo con las pruebas preliminares realizadas durante la toma de datos de este proyecto tenemos 10 segundos, y

como intervalo máximo 30 minutos. Posterior a esto tenemos un tiempo máximo de adquisición de 3 a 4 días, esto con una recepción de 1 minuto. Por lo que es viable afirmar que si aumenta gradualmente el tiempo de recepción entre cada censado se reducirá progresivamente el tiempo máximo de adquisición de datos. Este es un dato importante que se debe tener en cuenta a la hora de cargar la programación en el Arduino IDE.



**Figura 36.** Grafica de tendencia Temperatura Vs Tiempo tomada del PLX\_DAQ. Fuente: Autores.

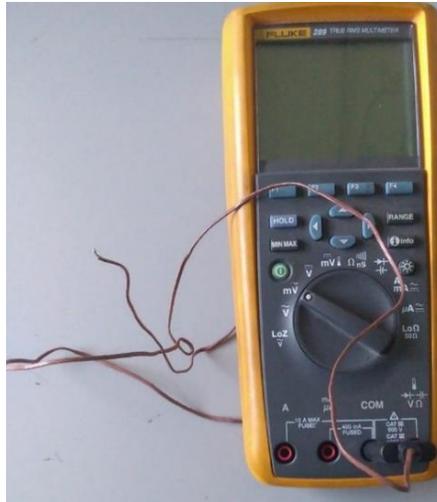
El sistema de adquisición de acuerdo con lo visualizado en la figura 36 y la tabla 2, tiene un retardo de 1 segundo entre recepción de datos lo que es habitual si se gradúa el tiempo como se ha estipulado anteriormente.

#### 4.6 Comparativo con otros instrumentos de medición.

Una vez se estén recibiendo datos se hizo un comparativo con otros instrumentos de medición de temperatura, es decir, se realizaron pruebas con la termocupla del multímetro de marca Fluke 289 y con una cámara termográfica Fluke Ti450 en tiempo real para

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

determinar que tanta desviación se tiene en las termocupas las cuales se muestran a continuación en la figura 37 y 38:



**Figura 37.** Multímetro más termocupla marca FLUKE 289. Fuente: Autores.



**Figura 38.** Cámara termográfica marca FLUKE TI450. Fuente: Autores.

Para la toma y comparación de variables de temperatura entregados por el sistema de adquisición de datos con el instrumento de medida de la figura 38, es decir, la cámara termográfica, era necesario inicializar el sistema tal y como se estipula en el procedimiento de energización para poder hacer el comparativo entre estos mismos tenemos en cuenta la tabla 3:

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Fecha	Hora	Temperatura (°C)								
		Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8	Sensor 9
23/09/2021	11:00:10 a. m.	28,25	19,75	27,5	19,5	24,25	20,5	24,5	26	26
23/09/2021	11:00:41 a. m.	28,25	21	27,5	19,25	24,5	20,75	24,5	25,75	26,25
23/09/2021	11:01:11 a. m.	28,25	20,25	27,75	20	24,25	21,5	24,75	25,75	26,25
23/09/2021	11:01:41 a. m.	28,25	20,5	27,75	19,5	24,25	21	24,5	26	26,25
23/09/2021	11:02:12 a. m.	28,25	20,5	27,75	19,5	24,5	20,25	24,5	25,75	26,25
23/09/2021	11:02:43 a. m.	28,75	20,5	28,25	19,75	24,5	20,5	24,75	25,75	26,25
23/09/2021	11:03:13 a. m.	28,25	20,5	27,75	19,5	24,5	21	24,25	26	26,5
23/09/2021	11:03:44 a. m.	28	20,5	27,75	19	24	20,5	24,5	25,25	26,75
23/09/2021	11:04:14 a. m.	28,25	20,75	27,75	19,75	24,5	21,25	24,25	25,75	26,25
23/09/2021	11:04:45 a. m.	28,5	20,75	27,75	20,25	25,5	22	25	26,25	26,25
23/09/2021	11:05:15 a. m.	28,25	20,5	27,75	19,5	24,75	20,75	24,25	26	26,75
23/09/2021	11:05:46 a. m.	28,75	21	28	19,75	24,5	20,75	25,25	25,75	27
23/09/2021	11:06:17 a. m.	27,75	20,25	27,5	19,75	25	20,5	25	26,25	27
23/09/2021	11:06:47 a. m.	28,75	21	28,25	20,25	25,25	22	25	26,5	27
23/09/2021	11:07:18 a. m.	28,5	20,5	27,5	20,25	24,5	21,25	24,25	26	26,75
23/09/2021	11:07:48 a. m.	28	21	28,25	19,75	24,75	21,25	25	26	26,5
23/09/2021	11:08:19 a. m.	29	20,75	28,5	20,25	24,75	21,5	24,75	26	26,75
23/09/2021	11:08:49 a. m.	29	20,5	27,75	20,5	24,75	22,5	24,25	26,25	27

**Tabla 3.** Datos para la comparación con cámara termográfica tomados del PLX\_DAQ.

Fuente: Autores.

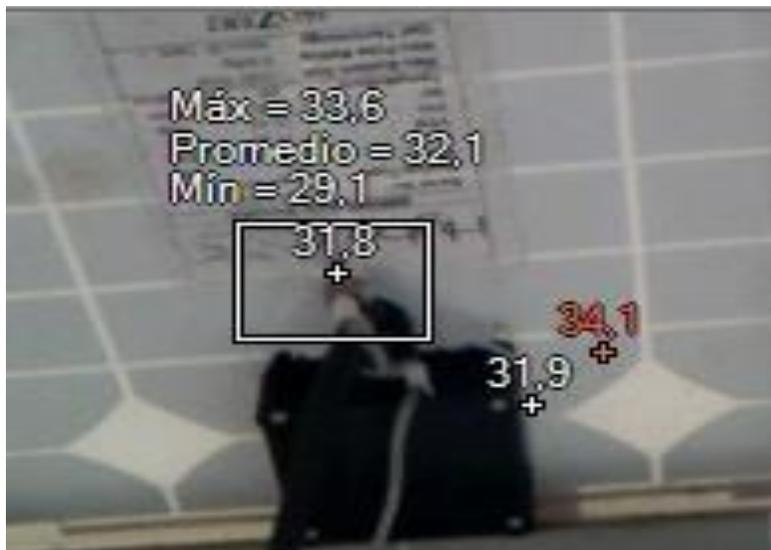
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Como se indica en la tabla 3 estos datos fueron tomados el 23 de septiembre en condiciones medio ambientales con cierto grado de precipitaciones, para ello vamos a emplear la siguiente ecuación para determinar el % de error entre las variables obtenidas por el sistema actualmente montado en el módulo PV y la cámara termográfica:

$$\%ERROR = \frac{VALOR\ TEORICO - VALOR\ EXPERIMENTAL}{VALOR\ TEORICO} \quad (3)$$

**Ecuación 3.** Porcentaje de error. Fuente: Autores.

Donde el valor teórico es considerado como el valor arrojado por la cámara termográfica y la termocupla del multímetro, esto porque estos dispositivos ofrecen una mayor precisión y exactitud en las medidas entregadas; el valor experimental es el valor medido por los sensores mostrado en la tabla 3. Por lo que a continuación se visualizara a través de la cámara termográfica cuales serían las temperaturas reales de cada sensor en el punto de contacto:



**Figura 39.** Imagen termográfica del sensor 1 tomado a las 11:00 am septiembre 23.

Fuente: Autores.

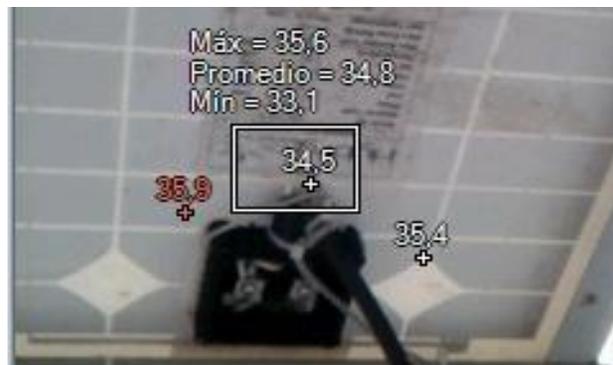
Inicialmente de acuerdo con lo visualizado en la tabla 3 y a la hora establecida en la figura 39 tenemos una desviación de 3.55 °C que equivale a un 11.16% el porcentaje de error de la medida del sensor #1.



**Figura 40.** Imagen termográfica del sensor 2 tomado a las 11:01 am septiembre 23.

Fuente: Autores.

Por consiguiente, con los datos que otorga el sensor #2 en la tabla 3 de acuerdo con la hora especificada en la figura 40 tenemos una desviación de 14.4 °C que equivale a un 41,8% en el porcentaje de error de la medida de dicho sensor. Esta desviación se presenta por lo expuesto en el numeral 4.2 donde se explica de manera consistente la incertidumbre en los sensores de contacto.

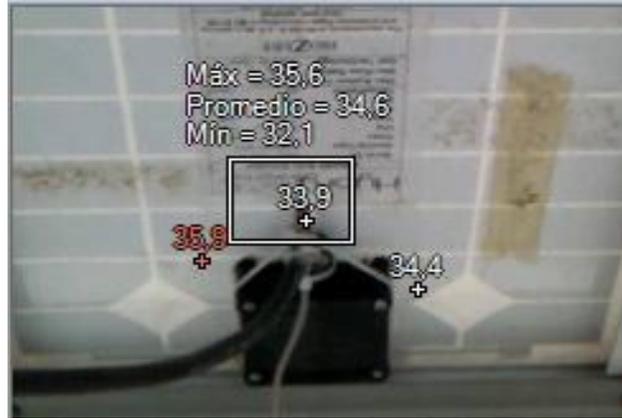


**Figura 41.** Imagen termográfica del sensor 3 tomado a las 11:02 am septiembre 23.

Fuente: Autores.

Posteriormente, visualizamos el sensor #3 en la tabla 3 donde dado a la hora expuesta en la figura 41 tenemos una desviación de 6.5°C que equivale a un 18.84% en el porcentaje de error de la medida de dicho sensor. Este porcentaje de error es relativo y depende de la

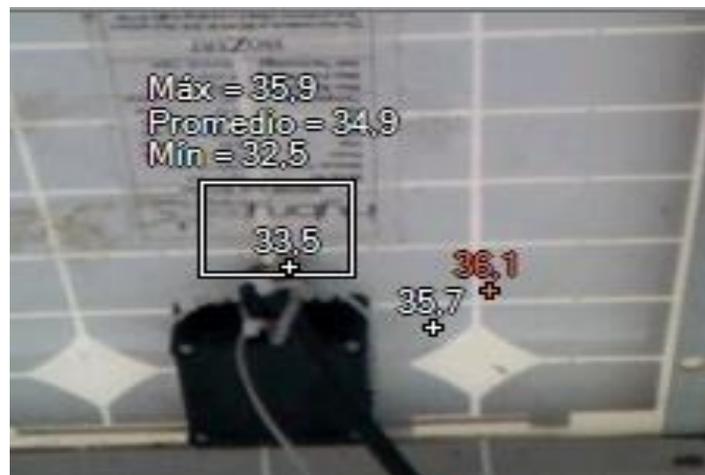
precisión y exactitud del sensor, por lo anterior deducimos que la calibración en los sensores es un factor apremiante en el funcionamiento de estos.



**Figura 42.** Imagen termográfica del sensor 4 tomado a las 11:03 am septiembre 23.

Fuente: Autores.

Luego, se observa el sensor #4 en la tabla 3, y de acuerdo con la hora establecida en la figura 42 tenemos una desviación de 13.9°C que equivale a un 41% en el porcentaje de error de la medida de dicho sensor. Al igual que el sensor #2 sufre el mismo fenómeno por ser un sensor de contacto.

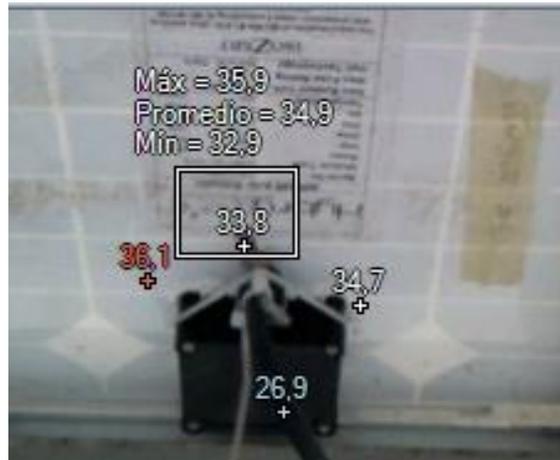


**Figura 43.** Imagen termográfica del sensor 5 tomado a las 11:04 am septiembre 23.

Fuente: Autores.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Siguiendo el mismo análisis de resultados, visualizamos los resultados del sensor #5 en la tabla 3 donde dado a la hora expuesta en la figura 43 tenemos una desviación de 8.65°C que equivale a un 25.82% en el porcentaje de error de la medida de dicho sensor.



**Figura 44.** Imagen termográfica del sensor 6 tomado a las 11:05 am septiembre 23.  
Fuente: Autores.

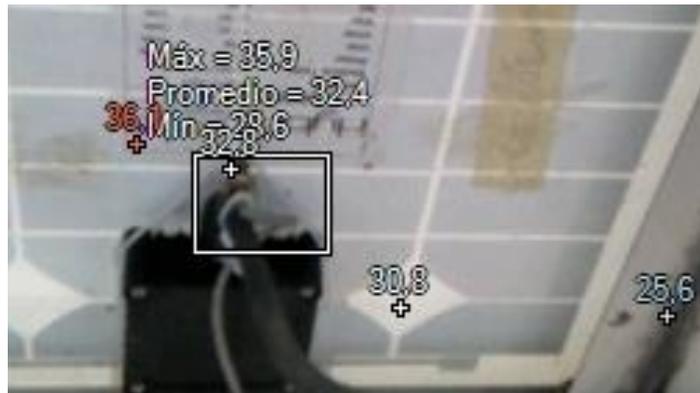
Posteriormente, visualizamos el sensor #6 en la tabla 3 donde dado a la hora expuesta en la figura 44 se tiene una desviación de 11.8°C lo que equivale a un 34.9% en el porcentaje de error de la medida de dicho sensor. Así que al igual que los sensores 2 y 4 sufre el mismo fenómeno de incertidumbre por ser un sensor de contacto.



**Figura 45.** Imagen termográfica del sensor 7 tomado a las 11:06 am septiembre 23.  
Fuente: Autores.

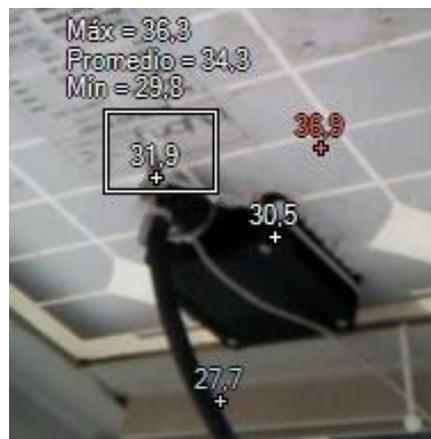
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Por consiguiente, de acuerdo con los datos otorgados por el sensor #7 en la tabla 3 y teniendo en cuenta la hora especificada en la figura 45 tenemos una desviación de 7.4 °C que equivale a un 22.83% en el porcentaje de error de la medida de dicho sensor.



**Figura 46.** Imagen termográfica del sensor 8 tomado a las 11:07 am septiembre 23.  
Fuente: Autores.

Siguiendo el análisis de resultados con la cámara termográfica, se visualiza el resultado del sensor #8 en la tabla 3 donde dado a la hora expuesta en la figura 46 donde tenemos una desviación de 6.55°C que equivale a un 19.96% en el porcentaje de error de la medida de dicho sensor.

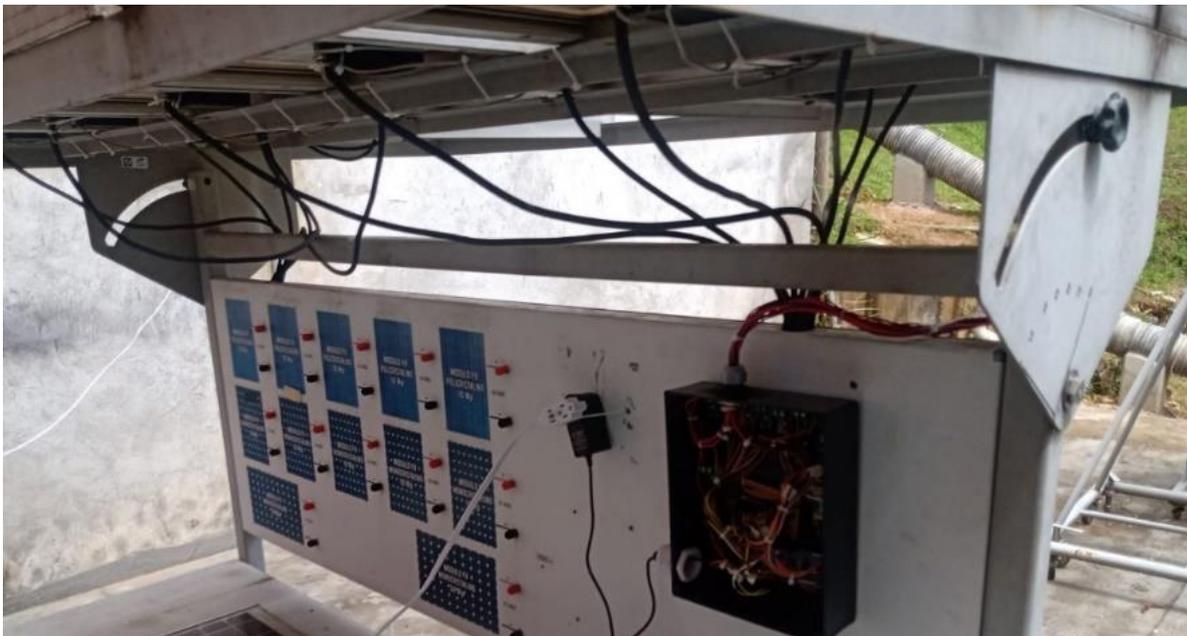


**Figura 47.** Imagen termográfica del sensor 9 tomado a las 11:08 am septiembre 23.  
Fuente: Autores.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

finalmente, siguiendo con el análisis de los datos otorgados por el sensor #9 en la tabla 3 y de acuerdo con la hora especificada en la figura 47 tenemos una desviación de 4.9 °C que equivale a un 15.36% en el porcentaje de error de la medida de dicho sensor.

Por consiguiente, una vez se estableció la toma de datos experimentales con dicho dispositivo de medición de temperatura se puede afirmar que al ser sensores de contacto a diferencia de la cámara termográfica estos sufren alteraciones en la medición debido a factores como el ángulo de inclinación del módulo o factores medio ambientales tales como la humedad, el viento, etc.



**Figura 48.** Módulo graduado con un Angulo de 90°. Fuente: Autores.

En la toma de datos con los dos instrumentos de medición, empleados para la comparación con los sensores instalados en el módulo PV, se empleó el módulo tal y como se muestra en la figura 48, es decir, a un Angulo de 90° sin alteración alguna en ningún momento desde el inicio, hasta la finalización de la toma de datos con dichos dispositivos de medición temperatura.

Finalmente, se realizó otra recepción y comparación de variables de temperatura entregados por el sistema en el mismo apartado del sistema de adquisición de datos con el

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

que se realizó la comparación de la cámara termográfica con el instrumento de medida de la figura 37, es decir, la termocupla del multímetro:

Fecha	Hora	Temperatura (°C)								
		Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8	Sensor 9
23/09/2021	11:49:03 a. m.	32,25	28	31,75	22,75	28,75	24	28,25	29	30
23/09/2021	11:49:34 a. m.	33,25	28	32,5	22,75	28,75	24,25	27,5	29	30
23/09/2021	11:50:04 a. m.	32,5	27	32,25	22,5	28,5	24,5	28,5	29,25	30
23/09/2021	11:50:35 a. m.	32,5	27,5	31,75	22,5	27,75	24,25	28,25	29,25	30,25
23/09/2021	11:51:06 a. m.	33	27,5	31,75	23	28,5	24,25	27,75	29	30,25
23/09/2021	11:51:36 a. m.	32,75	27	31,25	23,25	27,75	24	28	29,25	29,75
23/09/2021	11:52:06 a. m.	32,25	27,25	31,5	23	28,75	24,5	28,5	29,5	30,25
23/09/2021	11:52:37 a. m.	33	27,25	31,25	22,75	28,25	24	28	28,75	30,25
23/09/2021	11:53:08 a. m.	33	27	32,25	23	29,25	24,75	28,25	29,25	30
23/09/2021	11:53:38 a. m.	32,5	27	32	22,75	28	24,75	27,75	28,5	30
23/09/2021	11:54:09 a. m.	33	27	31,75	22	28,5	24,25	27,25	28,5	29,75
23/09/2021	11:54:40 a. m.	32,5	26,5	31,5	22,25	28	23,75	26,5	28	29,5
23/09/2021	11:55:10 a. m.	32	26,5	31,5	22,25	28,5	24,5	27,25	27,75	29,5
23/09/2021	11:55:40 a. m.	32,75	26,75	31,25	22	27,75	23,5	27,5	28	28,75
23/09/2021	11:56:11 a. m.	32,25	27,25	31,5	22,25	28,25	23,25	26,75	28	29,25
23/09/2021	11:56:42 a. m.	32,5	27,75	31,25	22,25	28	23,25	27	27,5	28,5
23/09/2021	11:57:12 a. m.	32,75	26,75	25	27	28,25	24,25	26,75	28,5	29,25
23/09/2021	11:57:43 a. m.	33	27	20,75	29,25	28	23,75	22,25	33,25	29,5

**Tabla 4.** Resultados para comparación con termocupla del multímetro exportados del PLX\_DAQ. Fuente: Autores.

Del mismo modo que con la cámara termográfica estos datos se toman el mismo día con diferentes horarios, pero con el propósito de esclarecer cuanta desviación hay entre los sensores.



**Figura 49.** Medición con termocupla del multímetro marca FLUKE 289. Fuente: Autores.

Para esta comparación utilizamos la ecuación 3, en la que especificamos el porcentaje de error entre las medidas otorgadas por ambos instrumentos, es decir, las termocuplas del sistema instalado en el módulo PV y la termocupla del multímetro; para ello visualizamos los valores entregados el 23 de septiembre a la hora especificada de acuerdo con la tabla 5:

Hora	Número de sensor	Temperaturas con multímetro FLUKE 289 °C	Temperaturas extraídas del PLX_DAQ °C	Desviación °C	%Error
11:49 am	1	34.3	32.25	2.05	5.9
11:50 am	2	31.0	27.5	3.5	11.29
11:51 am	3	33.5	31.25	2.25	6.7
11:52 am	4	31.5	23	8.5	26.9
11:53 am	5	31.8	29.25	2.55	8.01
11:54 am	6	30.3	24.25	6.05	19.9
11:55 am	7	31.8	27.5	4.3	13.5
11:56 am	8	30.2	28	2.2	7.2
11:57 am	9	32.3	29.5	2.8	8.6

**Tabla 5.** Tabla comparativa con la termocupla del multímetro más porcentaje de error.

Fuente: Autores.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En este apartado evaluamos la eficiencia de las termocuplas en las que determinamos que en la mayoría la desviación no es mayor al  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, por lo que, el sistema de medición posee una buena precisión a pesar de estar utilizando sensores de contacto.

Una vez finalizado este análisis nos enfocamos en la tabla 6 en la que visualizamos el porcentaje de error entregado con la medición de los dispositivos aludidos anteriormente en las figuras 38 y 39, por lo que dichos valores son:

<b>Numero de sensor</b>	<b>%Error con cámara termográfica FLUKE TI450</b>	<b>%Error con termocupla del multímetro FLUKE 289</b>
1	11.16%	5.9%
2	41.8%	11.29%
3	18.84%	6.7%
4	41%	26.9%
5	25.82%	8.01%
6	34.9%	19.9%
7	22.83%	13.5%
8	19.96%	7.2%
9	15.36%	8.6%

**Tabla 6.** Tabla comparativa de los porcentajes de error. Fuente: Autores.

De acuerdo con la tabla 6 es claro afirmar que la medida otorgada por el sistema instalado en el módulo PV del laboratorio de electrónica y energías renovables, al ser implementado con sensores de temperatura de contacto sufren las alteraciones comunes que normalmente tienen dichos sensores, el porcentaje de error tiende a ser dependiendo del tipo de sensor empleado para la comparación bajo, aunque dado a la precisión de la cámara termográfica este tiende a arrojar unos resultados mucho más confiables, por lo tanto, es viable afirmar que en un futuro podría implementarse el cambio de sensores por cámaras termográficas electrónicas de alto costo.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4.7 Exportación de datos a Matlab

Debido a la capacidad que posee Matlab para la maniobrabilidad de los datos almacenados, en este numeral se explica de manera concisa como exportar datos desde el archivo guardado como formato xlsx. Se recomienda emplear los siguientes pasos:

1. Guardar en la misma carpeta el archivo abierto de Matlab y el archivo xlsx con los datos tomados.
2. Utilizar la programación mostrada en el APENDICE C, en Matlab dependiendo del rango máximo de datos tomados por el PLX\_DAQ y almacenados en Excel.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### 5.1 Conclusiones

- Se realizó el diseño y la implementación de un sistema de medición de temperatura para arreglos fotovoltaicos PV. El sistema diseñado se utilizó en un arreglo PV 3x3 del laboratorio de electrónica y energías renovables del sistema integrado de laboratorios Parque i.
- Se logró identificar el dispositivo de medición de temperatura más asequible comercialmente y también mencionado en la revisión del estado del arte. De igual forma, se identificó un ADC que otorga precisión y exactitud suficiente para la realización de este proyecto.
- Se programó y se implementó un sistema de adquisición de datos inalámbricamente en tiempo real por medio de la plataforma de Arduino, recibiendo las temperaturas medidas a través de una interfaz que otorga la posibilidad de graficar los resultados, esto también posibilita la opción de transmitir los datos a la plataforma Matlab la cual posee una mejor maniobrabilidad de los datos.
- Las pruebas de tendencia permitieron comprobar la estabilidad del sistema de medición de temperatura. Por tanto, se puede afirmar que el sistema cumple con los requerimientos mínimos para su efectiva operación e interacción con el arreglo PV. Del mismo modo, se efectuaron pruebas con otros instrumentos de medición lo que garantiza que la desviación que presentan los sensores no es muy significativa.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5.2 Recomendaciones y trabajo futuro

Se recomienda como trabajo a futuro cambiar los sensores de contacto por otro tipo de sensores, que posibiliten una mayor precisión en los datos recibidos en el PLX\_DAQ, con un porcentaje de error menor respecto a los instrumentos de medida empleados para la comparación en este producto de laboratorio.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

- AreaTecnologia. (s.f.). *SENSORES ELÉCTRICOS*. Obtenido de <https://areatecnologia.com/https://areatecnologia.com/electricidad/sensores-electricos.html>
- Coluccio Leskow, E. (16 de julio de 2021). *Transferencia de Calor*. Obtenido de Concepto.de: <https://concepto.de/transferencia-de-calor/>
- Connor, N. (8 de Enero de 2020). *Qué es la conducción térmica – Conducción de calor – Definición*. Obtenido de thermal-engineering.or: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-conduccion-termica-conduccion-de-calor-definicion/>
- Corona Ramirez, L. G., Abarca Jimenez, G. S., & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y actuadores aplicaciones con Arduino. E libro*, 1-317.
- Cuihong , L., Wentao , R., Benhua , Z., & Changyi , L. (2011). La aplicación de la medición de la temperatura del suelo mediante sensores de temperatura LM35. *IEEE*, 1825-1828.
- Delgado Crespo, M. (s.f.). *Arduino En Español*. Obtenido de manueldelgadocrespo.blogspot.com: <http://manueldelgadocrespo.blogspot.com/p/arduino-mega-2560.html>
- DeMeyer, Z. (s.f.). *Uno | Una visión general de la computadora de placa única más popular de Arduino*. Obtenido de arrow.com: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/arduino-uno-product-overview>
- Electronics, T. (s.f.). *Modulo MAX6675 + termopar tipo K*. Obtenido de taloselectronics.com: <https://www.taloselectronics.com/products/modulo-max6675-termopar-tipo-k>
- Galadima, A. A. (2014). *Arduino como herramienta de aprendizaje. International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, 1-4.
- industrial, JM. (s.f.). *TERMOCUPLA*. Obtenido de jmi.com.mx: <https://www.jmi.com.mx/termocupla>
- Jiguang , L., Yukun , L., & Hongyan , Z. (2010). Un sistema de medición de temperatura basado en PT100. *IEEE*, 296-298.
- Jimenez, J. (24 de Mayo de 2019). *Qué puede interferir en la señal Bluetooth y cómo evitarlo*. Obtenido de redeszone.net: <https://www.redeszone.net/2019/05/24/que-interfiere-senal-bluetooth-consejos/>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Jovanović, U., Jovanović, I., & Mančić, D. (2018). Resumen de sensores de temperatura para la medición de temperatura de módulos fotovoltaicos. *IEEE*, 1-8.

MCI electronics. (s.f.). Obtenido de Arduino.cl: <https://arduino.cl/arduino-nano/>

Mehta, S., & Chatterjee, B. (2019). Técnicas de modelado eficientes para termopares tipo J en el sistema de monitoreo de temperatura de la batería de un vehículo eléctrico. *IEEE*, 1-5.

Muñoz Escribano, M., Garcia Solano, M., de la Parra Laita, I., Alvares, J. M., Marroyo, L., & Pigueiras, E. L. (2018). Dispersión de temperatura del módulo dentro de un gran campo fotovoltaico: observaciones en la planta fotovoltaica de Amareleja. *IEEE*, 1725-1731.

Parallax. (23 de Noviembre de 2020). *PLX-DAQ*. Obtenido de parallax.com: <https://www.parallax.com/package/plx-daq/>

Planas, O. (9 de Noviembre de 2016). *Energía Solar*. Obtenido de ¿Qué es la temperatura?: <https://solar-energia.net/termodinamica/propiedades-termodinamicas/temperatura>

Rosero, P. D. (10 de Mayo de 2019). *Conversión Análoga*. Obtenido de paulosero-montalvo.com: <https://paulosero-montalvo.com/gallery/conversion%20analoga%20digital.pdf>

SAC, N. M. (s.f.). *MÓDULO BLUETOOTH HC05*. Obtenido de naylampmechatronics.com: <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/43-modulo-bluetooth-hc05.html>

SAC, Naylamp Mechatronics. (s.f.). *MÓDULO BLUETOOTH HC06*. Obtenido de naylampmechatronics.com: <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/24-modulo-bluetooth-hc06.html>

SERVOTRONIK. (s.f.). *KIT TERMOCUPLA TIPO K MAS MODULO MAX6675*. Obtenido de servotronic.com.co: <http://www.servotronic.com.co/index.php/producto/kit-termocupla-tipo-k-mas-modulo-max6675/>

shop7. (s.f.). *cable alimentacion arduino 9V 1A Power Adapter for Arduino (2-Flat-Pin Plug / 100CM Cable) - Free shipping - DealExtreme*. Obtenido de shop7.shopsoutlet2021.ru: <https://shop7.shopsoutlet2021.ru/content?c=cable%20alimentacion%20arduino&id=4>

Singh, D., Kumar, P., & Chand Prasad, S. (2016). Calibración de termopares para aplicaciones de baja temperatura. *IEEE*, 1-4.

SyZed. (15 de Junio de 2011). *Termocuplas*. Obtenido de catedra.ing.unlp.edu.ar: <https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/cys/DI/termocuplas.pdf>

Yu, T., Ren, C., Li, J., Jia, Y., Zhang, J., Xu, Y., . . . Gao, S. (2021). Monitoreo y predicción de la temperatura del panel fotovoltaico mediante un sensor de temperatura distribuido Raman con método de umbral de diferencia de temperatura difusa. *IEEE*, 373-380.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# APÉNDICE

## APENDICE A

Código programación para configuración comandos AT.

ConfiguracionAT

```

#include <SoftwareSerial.h>

#define rxPin 11
#define txPin 12

SoftwareSerial mySerial(rxPin, txPin);
char myChar ;

void setup() {
  Serial.begin(38400);
  Serial.println("AT");

  mySerial.begin(38400);
  mySerial.println("AT");
}

void loop() {
  while (mySerial.available()) {
    myChar = mySerial.read();
    Serial.print(myChar);
  }

  while (Serial.available()) {
    myChar = Serial.read();
    Serial.print(myChar);
    mySerial.print(myChar);
  }
}

```

## APENDICE B

Código programación energización del sistema.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```
programacion_arreglo_PV
```

```
#include <MAX6675_Thermocouple.h>
```

```
// Declaracion de variables globales
```

```
int ktcS01 = 2;
int ktcCS1 = 3;
int ktcSCK1 = 4;
int ktcS02 = 5;
int ktcCS2 = 6;
int ktcSCK2 = 7;
int ktcS03 = 8;
int ktcCS3 = 9;
int ktcSCK3 = 10;
int ktcS04 = 11;
int ktcCS4 = 12;
int ktcSCK4 = 13;
int ktcS05 = 22;
int ktcCS5 = 23;
int ktcSCK5 = 24;
int ktcS06 = 28;
int ktcCS6 = 29;
int ktcSCK6 = 30;
int ktcS07 = 34;
int ktcCS7 = 35;
int ktcSCK7 = 36;
int ktcS08 = 40;
int ktcCS8 = 41;
int ktcSCK8 = 42;
int ktcS09 = 46;
```

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

programacion_arreglo_PV
int ktcS09 = 46;
int ktcCS9 = 47;
int ktcSCK9 = 48;

MAX6675_Thermocouple ktc1(ktcSCK1, ktcCS1, ktcS01);
MAX6675_Thermocouple ktc2(ktcSCK2, ktcCS2, ktcS02);
MAX6675_Thermocouple ktc3(ktcSCK3, ktcCS3, ktcS03);
MAX6675_Thermocouple ktc4(ktcSCK4, ktcCS4, ktcS04);
MAX6675_Thermocouple ktc5(ktcSCK5, ktcCS5, ktcS05);
MAX6675_Thermocouple ktc6(ktcSCK6, ktcCS6, ktcS06);
MAX6675_Thermocouple ktc7(ktcSCK7, ktcCS7, ktcS07);
MAX6675_Thermocouple ktc8(ktcSCK8, ktcCS8, ktcS08);
MAX6675_Thermocouple ktc9(ktcSCK9, ktcCS9, ktcS09);

void setup() {
  // PREPARAR LA INTERFAZ SERIAL
  Serial.begin(152000);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL, Fecha, Hora, Sensor 1 °C, Sensor 2 °C, Sensor 3 °C, Sensor 4 °C, Sensor 5 °C, Sensor 6 °C, Sensor 7 °C, Sensor 8 °C, Sensor 9 °C");
  // ESPERAR MEDIO SEGUNDO
  delay(500);
}

void loop() {

Serial.print("DATA, DATE");
Serial.print(",");
Serial.println("TIME");

```

```

programacion_arreglo_PV
Serial.print(",");
Serial.print("TIME");
Serial.print(",");

double sensor1 = ktc1.readCelsius();
double sensor2 = ktc2.readCelsius();
double sensor3 = ktc3.readCelsius();
double sensor4 = ktc4.readCelsius();
double sensor5 = ktc5.readCelsius();
double sensor6 = ktc6.readCelsius();
double sensor7 = ktc7.readCelsius();
double sensor8 = ktc8.readCelsius();
double sensor9 = ktc9.readCelsius();

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

```

Serial.print(sensor1);
Serial.print(",");
Serial.print(sensor2);
Serial.print(",");
Serial.print(sensor3);
Serial.print(",");
Serial.print(sensor4);
Serial.print(",");
Serial.print(sensor5);
Serial.print(",");
Serial.print(sensor6);
Serial.print(",");
Serial.print(sensor7);
Serial.print(",");
Serial.print(sensor8);
Serial.print(",");
Serial.println(sensor9);
    delay(60000);
}

```

## APENDICE C

### Código de programación para exportación de datos a Matlab

```

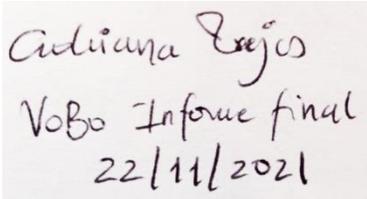
1  clc;
2  clear all;
3  close all;
4
5  T = readtable('23 septiembre datos para informe.xlsx','sheet','Simple Data','Range','A2:K162');

```

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES BRYAN STEVEN ANGEL LOPEZ

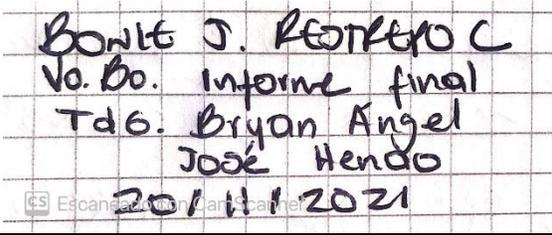
*[Handwritten Signature]*



FIRMA ASESOR *Adriana Rojas*

*VoBo Informe final*

*22/11/2021*



FIRMA ASESOR *BONITA J. RESTREPO C*

*Vo.Bo. Informe final*

*TdG. Bryan Angel*

*José Hendo*

*20/11/2021*

FECHA ENTREGA: 22/11/2021

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_\_      ACEPTADO\_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____
ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____