

CARACTERIZACIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA TERMOPAR, TERMISTOR Y RTD

CHARACTERIZATION OF TEMPERATURE SENSORS THERMOPAR, THERMISTOR AND RTD.

Rodríguez R. Alberto* Suárez H. Sebastián** Montaña Q. Henry***

Resumen: Este artículo muestra la implementación de los 3 tipos de sensores de temperatura, los cuales son pt100 de 3 hilos (RTD), termocupla tipo J (Termopar) y un termistor de 10KΩ NTC (Termistor). Para poder implementar estos 3 tipos de sensores se ha usando como unidad central la PSoC 5lp, la cual nos ayuda en cuanto a los circuitos de acoplamiento, ya que posee un ADC de 20 bits y un bloque específico de cada sensor, para obtener una medida exacta y precisa. Además de lo anterior mencionado también se implemento un bloque de control, el cual nos ayuda a variar la temperatura del liquido en el cual van a estar presente los sensores, y por último se realiza una interfaz gráfica, en la cual se observara la temperatura de cada sensor y algunas gráficas como curvas de histéresis, y linealidad.

Palabras Claves: *Termopar, Termistor, RTD.*

Abstract

This article shows the implementation of the 3 types of sensors of temperature, which are pt100 of 3 threads (RTD), termocupla type J (Thermocouple) and a thermistor of 10KΩ NTC

* Estudiante de tecnología en electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia).
e-mail: albert.0409@hotmail.com

* Estudiante de tecnología en electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia).
e-mail: jsscr1im@gmail.com

** Profesor de la Universidad Distrital Francisco José de caldas (Colombia)
e-mail: hmontana@gmail.com

(Thermistor). You have in order to be able to implement these 3 types of sensors using like mainframe the PSoC 5lp, which helps us as to the circuits of connection, since you possess an ADC of 20 bits and a specific block out of every sensor, to obtain a full measure and hurry. Besides the above mentioned also himself I implement a control block, which helps us to the sensors to vary the temperature of the liquid in which they are going to be present, and finally a graphic interface comes true, in which observe him the temperature out of every sensor and some graphs like curves of hysteresis, and linearity.

Key Words: Thermocouple, thermistor, RTD.

1 Introducción

La importancia de medir la temperatura en varios procesos industriales, es de vital importancia, debido a que muchos materiales requieren llegar a cierto rango de temperatura, en algunos casos se requiere un rango muy reducido, como el destilado de petroleo, por lo tanto si llega a exceder, o no alcanza dicho rango, el material puede salir defectuoso, o no cumple con las normas establecidas, por lo tanto representa una perdida monetaria a las empresa. En base a lo anterior se plantea este proyecto, el cual, se implementa 3 tipos de sensores, los cuales son: termocupla tipo J, termistor NTC 10K Ω y una PT100.

Estos ya mencionados sensores, se les aplica las pruebas necesarias, en un laboratorio de física, para poder caracterizarlos detalladamente, debido a que se requieren dichos datos para digitalizarlos en la PSoC, y este realice unos algoritmos, ya incluidos en PSoC, los cuales permiten que los sensores obtengan una medida acertada.

Luego se implementa un bloque de control, el cual tiene como función variar la temperatura de cierto liquido, en nuestro caso el agua, debido a la necesidad de mostrar los sensores en

funcionamiento, y también obtener una cantidad de datos lo suficientemente amplia para mostrar la curva de histéresis.

Para poder calentar el agua, se implemento una resistencia de potencia (churrusco), la cual calienta el agua liberando electrones, pero ocurre un problema con la termocupla, ya que esta genera una diferencia de voltaje muy pequeña, al ser alterada por los electrones, tiende a medir mal. Lo anterior le damos solución implementando un cable el cual rodee el envase donde se halla el agua, y este valla directo a tierra, así evite alterar la medición.

También se realiza la respectiva calibración de los sensores, con respecto al sensor cassy – 2 [1] el cual nos lo suministra el laboratorio de física de la Universidad Distrital.

Y por último se aplica un bloque final de interfaz gráfica, el cual visualiza los datos obtenidos de la PSoC, grafique los datos ya sea a su resistencia o voltaje, muestre las curvas de histéresis, y cree un archivo en excel, donde se encontraran las temperaturas vs voltajes o resistencia.

Este documento se enfoca en describir la realización del proyecto, que aporta una solución a muchos contratiempos, en cuanto a la implementación de circuitos de acondicionamiento de señales. Finalmente se comentarán los resultados obtenidos, las conclusiones y las mejoras que se pretenden hacerle al proyecto más adelante.

2 Desarrollo del proyecto

Nuestro proyecto de grado consiste en utilizar nuevas herramientas para la caracterización de sensores de temperatura, de tal forma que sea sencillo para cualquier persona implementarlo, solo con realizar las pruebas necesarias al sensor.

El proyecto se divide en 3 bloques principales como se puede observar en la figura 1, en donde es posible identificar las herramientas necesarias para la construcción del proyecto. Entre estas herramientas se observa la estructura física donde va a cambiar la temperatura, la PSoC 5lp, circuitos de acondicionamiento, la comunicación serial, la interfaz gráfica y los distintos sensores como se muestra en el diagrama.

Basándose en lo anterior el sistema está organizado en 3 bloques, el primero es un modulo de potencia donde fácilmente se puede variar la temperatura, el segundo y más importante está enfocado al monitoreo de sensores y por último un bloque dedicado a una interfaz gráfica con el usuario, por lo tanto este artículo estará enfocado en explicar cada uno de estos bloques y además explicar el procedimiento de calibración que se le implemento a los sensores. A continuación se conocerá la funcionalidad de cada bloque y su importancia.

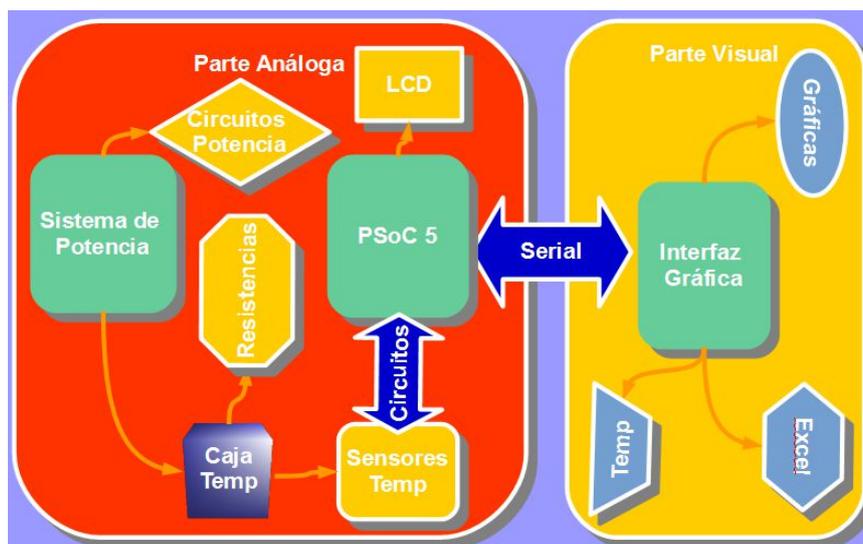


Figura 1. Visión general del Proyecto.

2.1 Bloque de potencia

En el bloque de potencias donde se lleva a cabo la generación de temperaturas de manera regulada se compone de dos etapas una de transformación y control de señales y otra de acoplado para su funcionamiento en potencia como se puede observar en la siguiente figura.

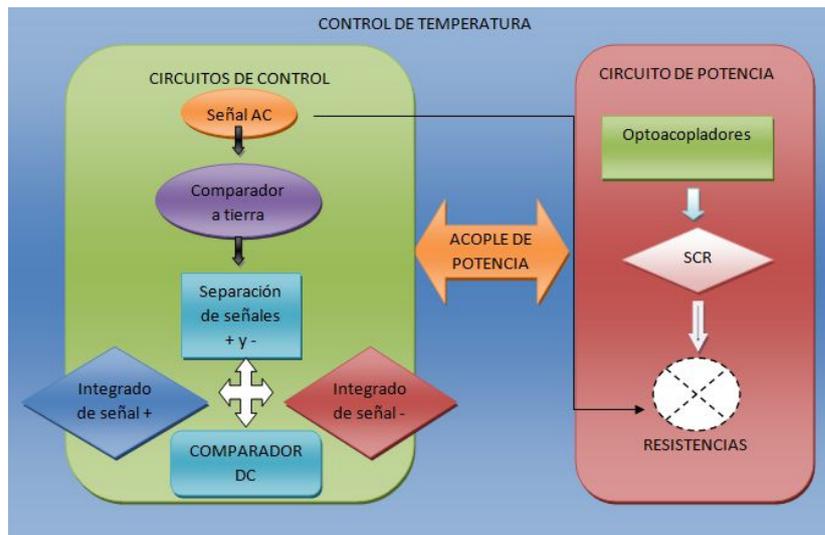
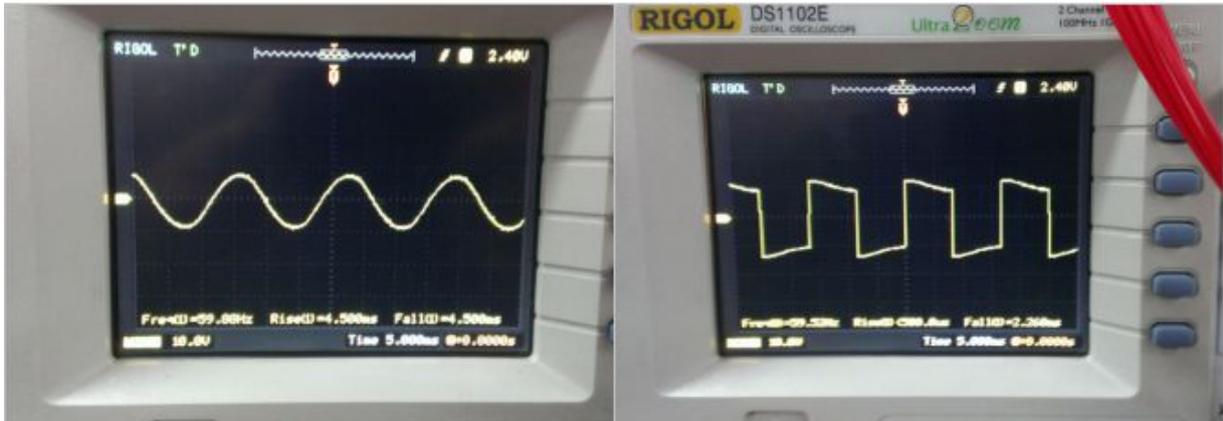


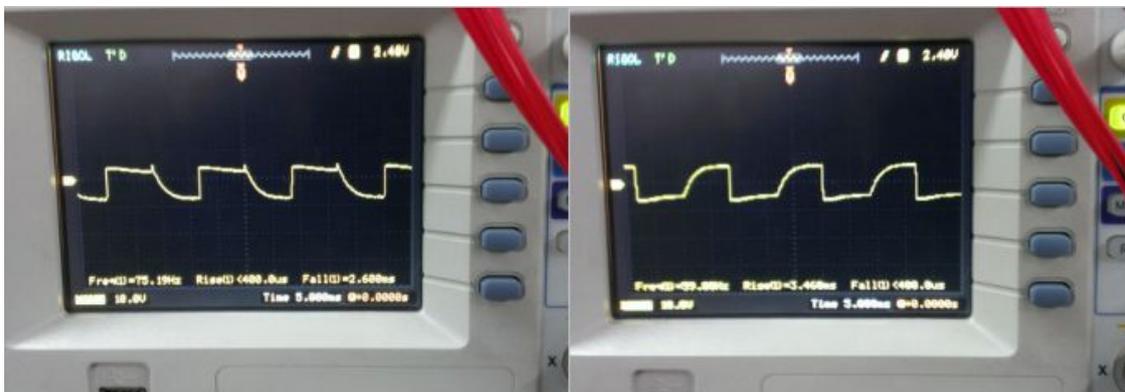
Figura 2. Diagrama de bloques para el sistema de potencias.

Como se mencionó anteriormente el sistema de potencias consta de dos partes principales. El primero es un sistema de control donde se implementan amplificadores operacionales para manejar la señal AC de la red a nuestro antojo creando una sincronización para el correcto funcionamiento y disparo de los SCR y así controlar la resistencia de potencia que es el elemento final del circuito. Luego de pasar por unos bloques como se muestra en la figura 3 por primera instancia se reduce la señal AC con un transformador, pasando por un amplificador operacional con ganancia 1 en la configuración de comparador a tierra para generar la señal cuadrada como se muestra a continuación en la figura 3.



**Figura 3. Transformación de señal sinusoidal a cuadrada
obtenida por el comparador a tierra**

Una vez teniendo esta señal se procede a invertirla para obtener dos señales cuadradas, una positiva y otra negativa, con la cual se procede a pasar a la siguiente etapa donde se integran las dos señales por separado obteniendo las siguientes gráficas triangulares.



**Figura 4. Gráficas triangulares obtenidas al integrar
las señales cuadradas**

Por ultimo con un comparador DC y unos amplificadores operaciones en modo sumador generamos la señal de disparo que se enviará a los opto-acopladores que darán la activación de los SCR para así poder regular el voltaje AC que cae sobre el resistor de potencia. Por último en la parte de potencia que se compone de un circuito de disparo con dos SCR en

anti paralelo, son controlados análogamente por medio de dos potenciómetros de la parte de control para poder regular el voltaje que cae sobre el resistor de potencia.

2.2. Bloque de monitoreo de sensores de temperatura

El bloque de monitoreo de sensores de temperatura se encarga de obtener la medida de los 3 sensores presentes en el sistema, los cuales son pt100, una termocupla tipo J y un termistor, además también hay un modulo PL2303 el cual envía los datos obtenidos por la PSoC vía serial, se puede observar mejor las conexiones de la PSoC en la figura 5.

A continuación se describen cada uno de los sensores empleados en el proyecto junto con la forma de conexión como se observa en la figura 6, donde se muestra como está conectado el sistema para su buen funcionamiento.

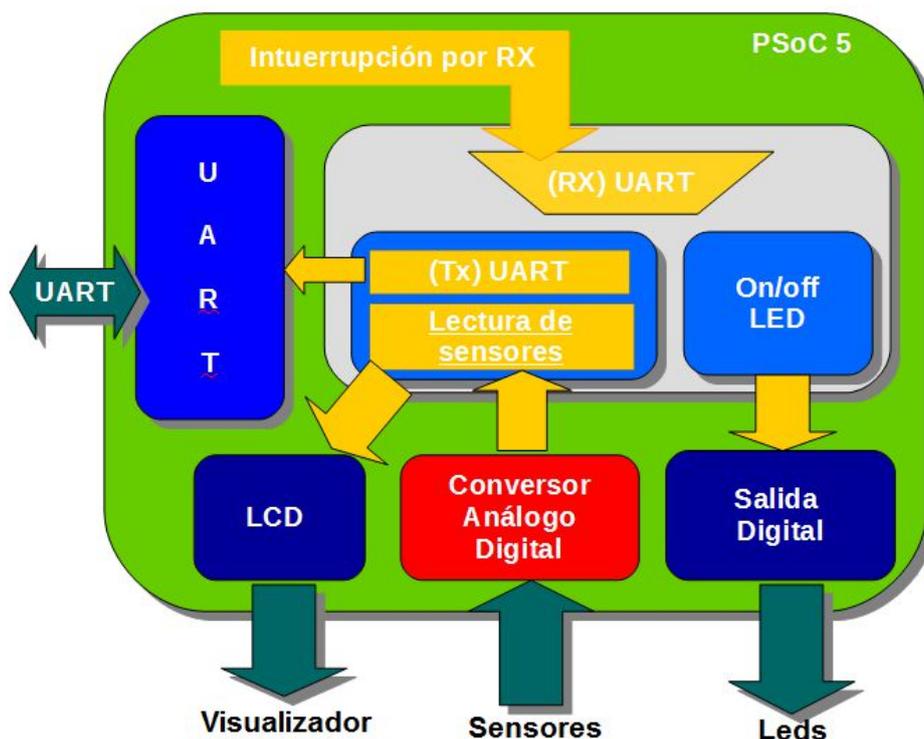


Figura 5. Bloque de monitoreo de sensores, LCD.

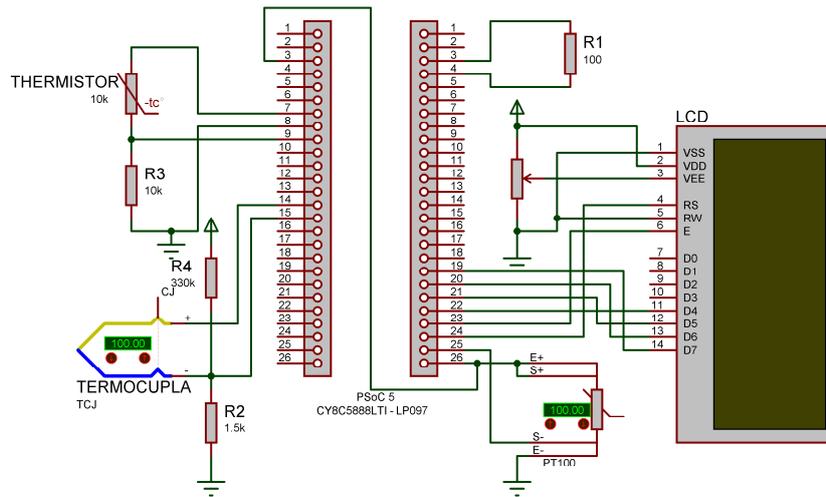


Figura 6. Esquema eléctrico del bloque de sensores.

2.3. Microcontrolador PSoC 5

Al igual que ya el mencionado sistema central de control, este bloque cuenta con un microcontrolador como parte más importante del sistema, cabe resaltar que para este bloque se empleó la PSoC 5 que se observa en la figura 7, está encargada de leer los estados de cada uno de los sensores, de activar o desactivar la alarma y por supuesto de comunicarse con el bloque de la interfaz gráfica.

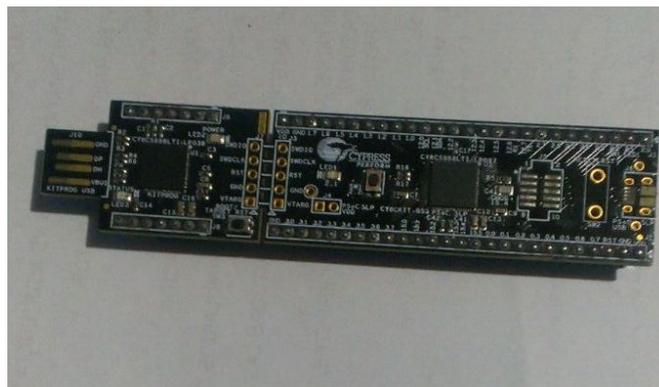


Figura 7. PSoC 5

Los circuitos de acondicionamiento de señal tienen como función, obtener el voltaje del sensor a medir, para esto lo amplifican, ya que por lo general son señales de bajo voltaje con

las que se trabaja, también se realizan lazos de corriente para poder transmitirlo, y por último se mide con un ADC. El proyecto plantea una alternativa para este problema, ya que por lo general la resolución de los ADC son bastante bajas, y se es imposible leer los cambios que tiene dichos sensores, por lo anterior se implementa la lectura de las señales con la PSoC 5, ya que está posee un ADC de 20 bits [2], que por lo tanto puede leer cambios de micro voltios, como lo muestra la ecuación 1.

$$\frac{V_{ref}}{2^n - 1} = \frac{2.048}{2^{20} - 1} = 1.95312 \mu V \quad (1)$$

Además de lo anterior, también tiene un herramienta, la cual nos ayuda a convertir los resultados obtenidos por el ADC a temperatura, estas herramientas solo son posible con el ADC de 20 bits, y existe para los 3 sensores a trabajar. Estas herramientas se describen detalladamente a continuación:

2.3. Termocupla tipo J

Las termocuplas están compuesta de 2 tipos de metales conectados, de tal forma que al calentarse uno de los dos metales, este generara un flujo de corriente, el cual a su vez también generara una diferencia de voltaje, en cambio el otro metal se le llama unión fría, el cual generalmente estará a la temperatura ambiente [3][5], como se muestra en la figura 8.

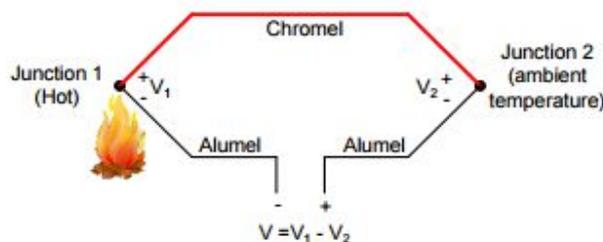


Figura 8. Esquema de las uniones de los metales de una termocupla [3][5].

En el proyecto implementamos una termocupla tipo J, la cual se observa en la siguiente figura.



Figura 9. Termocupla tipo J.

Por último tenemos el bloque de PSoC de termocuplas, el cual se observa en la figura 10. Donde es necesario poner el tipo de termocupla a trabajar, en nuestro caso fue la tipo J, luego el error a calcular, en el cual dejamos el valor por defecto. Además de configurar estos datos, también posee dos funciones que se encuentran en la tabla 1 con su descripción, las cuales fueron las usadas en el proyecto.

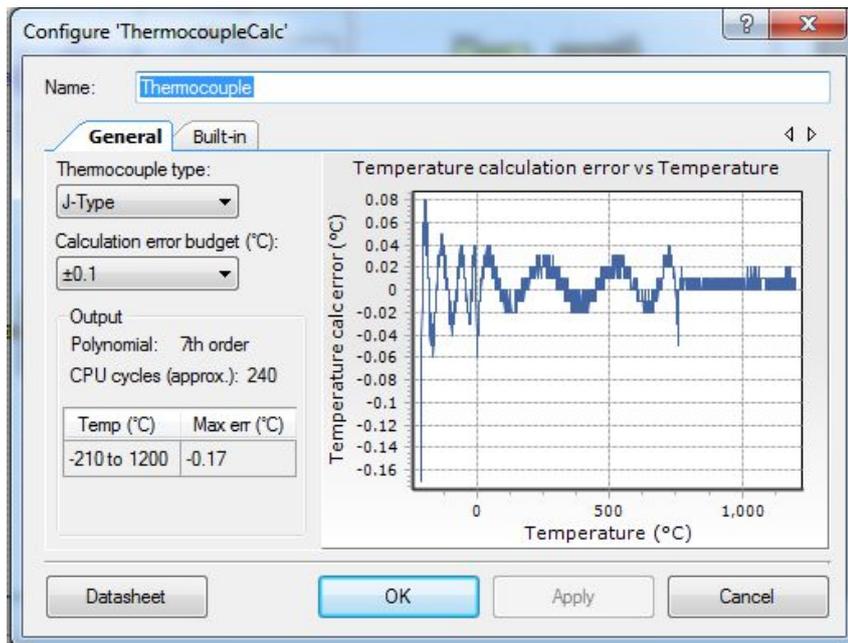


Figura 10. Bloque de PSoC Creator, Thermocuple[4].

Función	Descripción
int32 Thermocouple_GetTemperature(int32 voltage)	Tiene como parámetro de entrada el voltaje en micro Voltios (μV) de la termocupla y retorna la temperatura en grados Celsius.
int32 Thermocouple_GetVoltage(int32 temperature)	Calcula el voltaje de la unión fría, por medio de la temperatura de esté.

Tabla 1. Funciones del bloque termocupla

2.4 Termistor NTC

Los termistores funcionan como una resistencia variable, pero dicha resistencia no es eléctrica, si no térmica, teniendo en cuenta lo anterior encontramos dos tipos de termistores los NTC y los PTC. Los NTC a medida de que aumenta la temperatura, estos disminuyen su resistencia, en cambio los PTC son totalmente opuestos, ya que medida de que aumenta la temperatura su resistencia aumenta[5].

En el proyecto se implemento un NTC, de $10K\Omega$ a $25^{\circ}C$ como se observa en la figura 11. Este al igual que la termocupla tiene un recubrimiento, para poder sumergirlo en el agua.



Figura 11. Termistor NTC $10K\Omega$

Ahora tenemos el bloque del termistor (figura 12). Donde en primera instancia, encontramos la resistencia de referencia, esta es importante debido a que es con la que va a hacerse el divisor de voltaje con el sensor, en nuestro caso de $10K\Omega$ (10 kilo ohmios), luego encontramos 3 rangos de temperatura, máximo, mínimo y medio, estos son los que usa el algoritmo de PSoC para poder obtener la temperatura, como se observa el rango máximo es de 91° con una resistencia de 870 ohmios, luego uno de 25° a 10 kilo ohmios y por último el rango mínimo de 10° con una resistencia de 19.850 kilo ohmios, todos los anteriores datos, fueron tomados en un laboratorio de física. Y por último el bloque nos provee dos funciones al igual que la termocupla, las cuales se muestran a continuación.

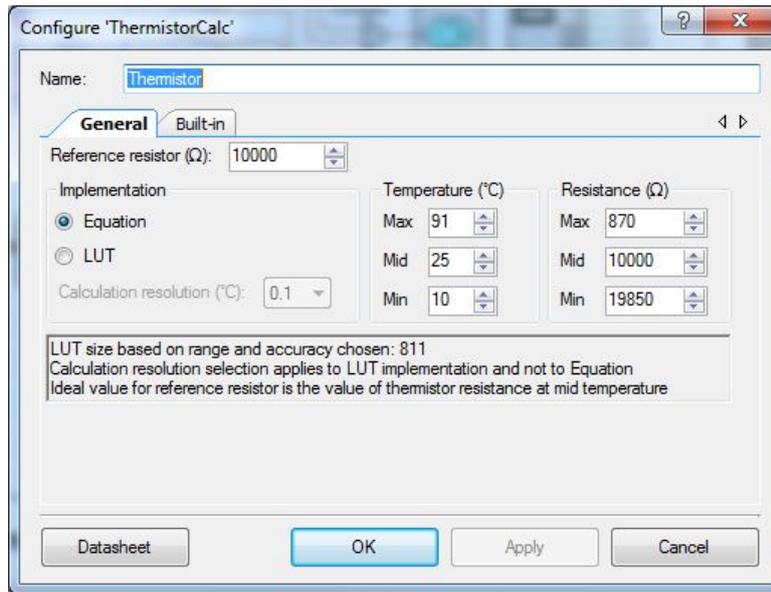


Figura 12. Bloque de PSoC Creator, Thermistor [4].

Función	Descripción
uint32 Thermistor_GetResistance (int16 vReference, int16 vThermistor)	Tiene como parámetro de entrada el voltaje de la resistencia de referencia y el voltaje del sensor, y retorna la resistencia en ohmios
int16 Thermistor_GetTemperature (uint32 resT)	Tiene como único parámetro de entrada la resistencia, y como resultado nos retorna la temperatura en grados Celsius

Tabla 2. Funciones del bloque termistor

2.5 PT100

De los anteriores sensores, la PT100, es la única que ya viene linealizada, por lo tanto su implementación es bastante sencilla. Esta consiste en un alambre de platino que a 0° tiene una resistencia eléctrica equivalente a 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica [6]. En el proyecto implementamos una PT100 de 3 hilos como se muestra e la figura 13, está se le inyecta una fuente de corriente por uno de los hilos, para luego poder medir la resistencia, y poder obtener la temperatura



Figura 13. PT100

Por último tenemos el bloque RTD, que se muestra a continuación. Este tiene una fácil configuración, primero el tipo de RTD, en nuestro caso es una pt100, luego el rango de trabajo, que en nuestro caso es de 10° a 100°, y de último el calculo del error, que normalmente se deja el valor por defecto. Además este bloque posee una única función, la cual tiene como parámetro de entrada la resistencia en mili ohmios, y este retorna la temperatura en grados Celsius.

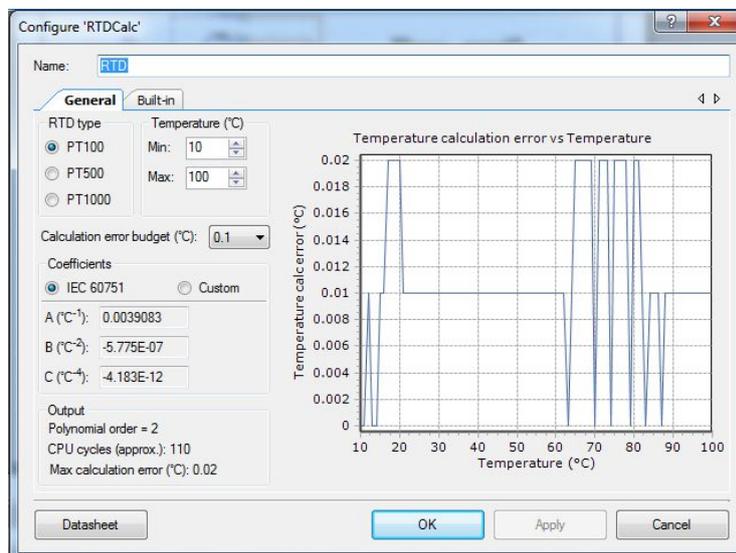


Figura 14. Bloque de PSoC Creator, RTD [4].

3 Bloque de visualización

La interfaz fue realizada en el lenguaje de programación de labview, ya que esta tiene una gran variedad de herramientas, que nos ayudan en la recepción de datos, indexación de estos, graficación entre otros, sin realizar una sola línea de código. En la siguiente figura tenemos la interfaz donde se observan, temperaturas, resistencias y voltajes más recientes, de dichos sensores, también la configuración del puerto serial, y por último las gráficas de las temperaturas, a lo largo del tiempo.

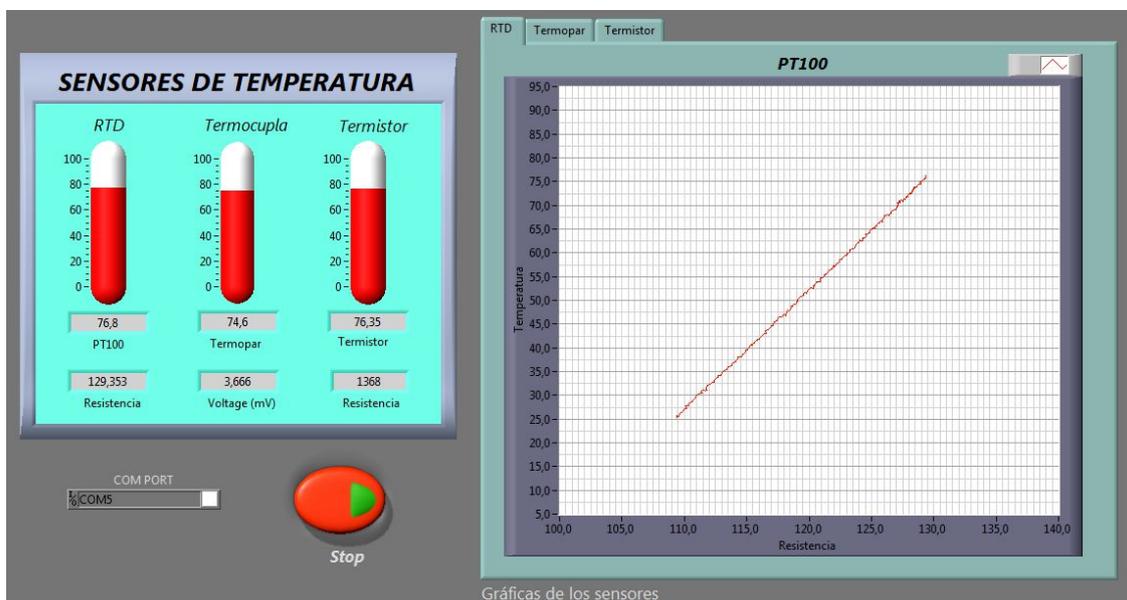


Figura 15. Interfaz gráfica en labview.

Luego describiremos los bloques más esenciales que se usaron en dicha interfaz y su funcionamiento respectivo.

En la figura 16, tenemos la recepción de datos, donde se observa un For anidado con un Case, esto debido a que por medio de labview le enviamos un dato al microcontrolador, y como resultado obtenemos ya sea una temperatura, resistencia o voltaje, para así evitar errores de recepción.

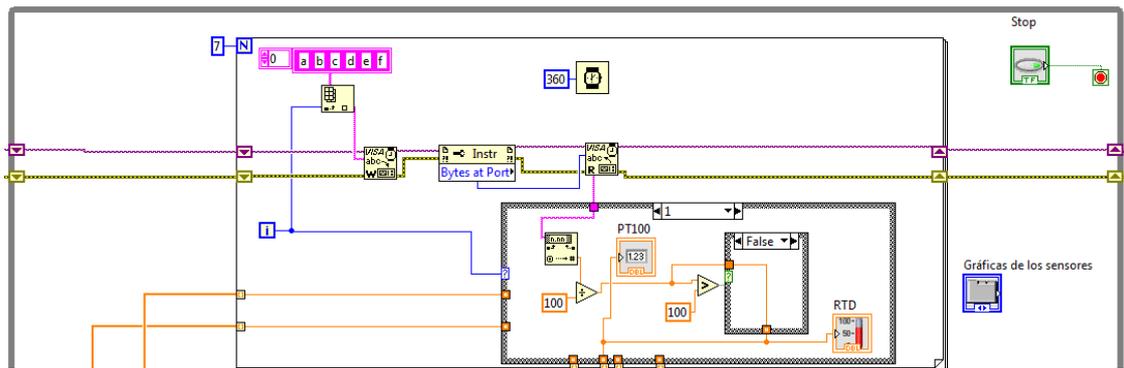


Figura 16. Bloque de adquisición de datos

Luego de obtener los datos, los pasamos por dos bloques principales, que se observan en la siguiente figura, estos tienen como función borrar cualquier dato erróneo, luego promediar de a 5 valores recibidos, para evitar una mala precisión, y obtener así finalmente el dato en un vector, el cual se gráfica.

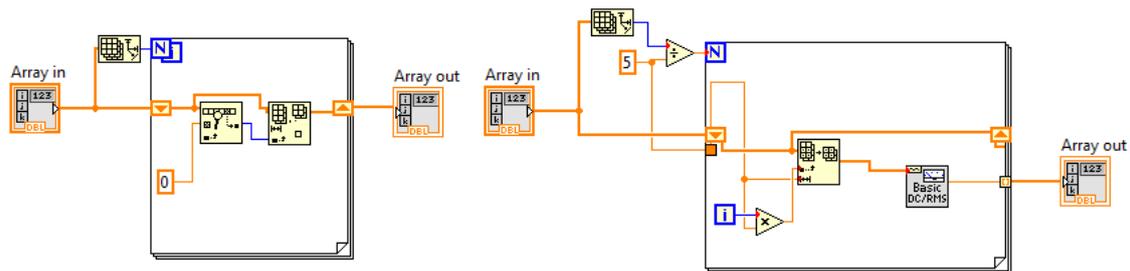


Figura 17. Bloque de corrección de errores y promedio de datos.

3.1 LCD 4x20

Además de la interfaz gráfica, implementamos una LCD de 4x 20, en la cual se visualizan las temperaturas de los 3 sensores, esto como alternativa de visualización, en caso de que no se conecte el puerto serial, se pueda ver los datos de temperatura.

4 Calibración de los sensores

Ya finalmente se hacen las respectivas calibraciones a cada uno de los sensores a manejar. La importancia de calibrar, es sencilla, ya que termómetros, termopares (T/C), termistores, termómetros de resistencia de platino (RTD) cambian sus características con el tiempo,

ciclos de temperatura e incluso pueden llegar a contaminarse. Por lo anterior existe una necesidad de calibrar, del mismo modo cumplir con estándares de calidad [7].

El método que se uso fue calibración por comparación, este simplemente consiste en comparar la lectura de un sensor con características ya conocidas con la lectura del sensor a calibrar. El sensor con características ya conocidas fue sensor cassy-2 [1], éste se puso en un vaso de precipitado junto con el sensor a calibrar.

Es importante, que dichos sensores estén a la misma profundidad. Por último tomamos ciertos valores estándares del rango de trabajo, como se muestran en las tablas siguientes, luego tomamos los datos en subida, es decir mientras se calienta el liquido, y para cerciorarse, lo repetimos 5 veces y promediamos todos los datos, para luego poder calcular la recta de tendencia, por medio de mínimos cuadrados, y así poder tomar el patrón del sensor cassy 2 a los sensores calibrar.

Termistor	Data1	Data2	Data3	Data4	Data5	Subida	Porcentaje
10°Celsius	9,7	9,65	10,32	9,64	9,94	9,85	0,00%
20°Celsius	19,69	19,9	20,02	19,34	20,16	19,822	12,50%
30°Celsius	30,34	29,9	29,75	29,64	28,91	29,708	25,00%
40°Celsius	40,5	39,7	39,5	40,06	38,14	39,58	37,50%
50°Celsius	49,4	49,7	49,64	49,46	48,77	49,394	50,00%
60°Celsius	60,5	59,41	59,67	59,42	59,1	59,62	62,50%
70°Celsius	69,6	69,73	69,3	70,19	69,27	69,618	75,00%
80°Celsius	79,8	79,4	79,11	79,69	80,48	79,696	87,50%
90°Celsius	89,3	89,21	89,4	89,34	88,91	89,232	100,00%

Tabla 3. Valores comparados del sensor cassy 2 con respecto al termistor

Termocupla	Data1	Data2	Data3	Data4	Data5	Subida	Porcentaje
10°Celsius	9,76	10,25	10,13	9,56	9,43	9,826	0,00%
20°Celsius	18,78	21,74	19,76	19,26	19,55	19,818	12,50%
30°Celsius	30,78	29,88	30,65	27,5	29,82	29,726	25,00%
40°Celsius	38,68	39,71	39,06	37,8	40,61	39,172	37,50%
50°Celsius	48,31	50,58	49,5	49,42	49,42	49,446	50,00%
60°Celsius	57,72	58,53	57,55	57,16	59,58	58,108	62,50%
70°Celsius	66,56	68,87	68,52	67,57	68,52	68,008	75,00%
80°Celsius	78,67	79,67	78,5	77,67	78,65	78,632	87,50%
90°Celsius	89,66	88,23	88,51	88,57	88,66	88,726	100,00%

Tabla 4. Valores comparados del sensor cassy 2 con respecto al RTD

PT100	Data1	Data2	Data3	Data4	Data5	Subida	Porcentaje
10°Celsius	9,67	9,74	10,49	9,5	9,89	9,858	0,00%
20°Celsius	19,29	18,92	19,87	19,56	19,83	19,494	12,50%
30°Celsius	32,3	28,1	28,92	29,19	28,16	29,334	25,00%
40°Celsius	41,3	38,82	37,78	39,77	40,28	39,59	37,50%
50°Celsius	49,23	48,03	48,1	48,77	49,1	48,646	50,00%
60°Celsius	59,26	57,28	58,09	58,49	58,35	58,294	62,50%
70°Celsius	69,63	67,71	68,7	69,21	68,27	68,704	75,00%
80°Celsius	79,51	78,54	79,03	78,9	78,96	78,988	87,50%
90°Celsius	88,69	88,25	88,67	88,82	88,71	88,628	100,00%

Tabla 5. Valores comparados del sensor cassy 2 con respecto al termopar

Por último obtenemos las siguientes 3 ecuaciones, que resultaron del patrón del sensor cassy 2, por medio de mínimos cuadrados, la primera es del termistor, la segunda de la termocupla y por último la PT100.

$$f(x) = 79,601333333333x + 9,812666666667 \quad (2)$$

$$f(x) = 78,338933333333x + 9,881866666667 \quad (3)$$

$$f(x) = 78,8008x + 9,659155555557 \quad (4)$$

5 Resultados

Luego de realizar más de 8 pruebas, y obtener los datos en excel, se procedió a analizar los datos y así obtener su máxima desviación, no linealidad e histéresis, como se observa en las siguientes figuras, tenemos una de las tantas pruebas realizadas, donde se puede observar las curvas de subidas, bajada, promedio y línea ideal, con su respectiva tabla de precisión.

RESISTENCIA VS TEMPERATURA

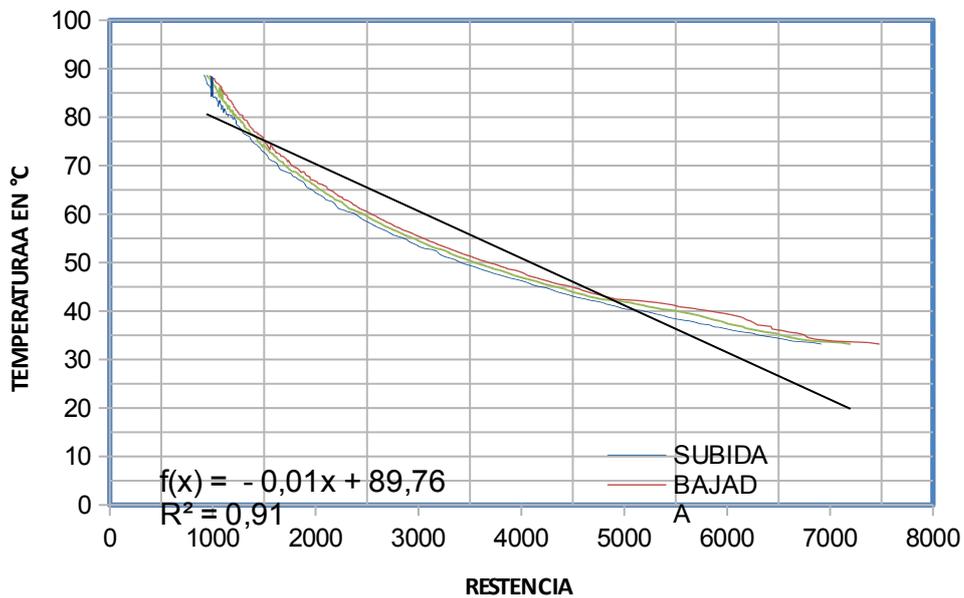


Figura 18. Análisis de datos en curvas de subida, bajada,

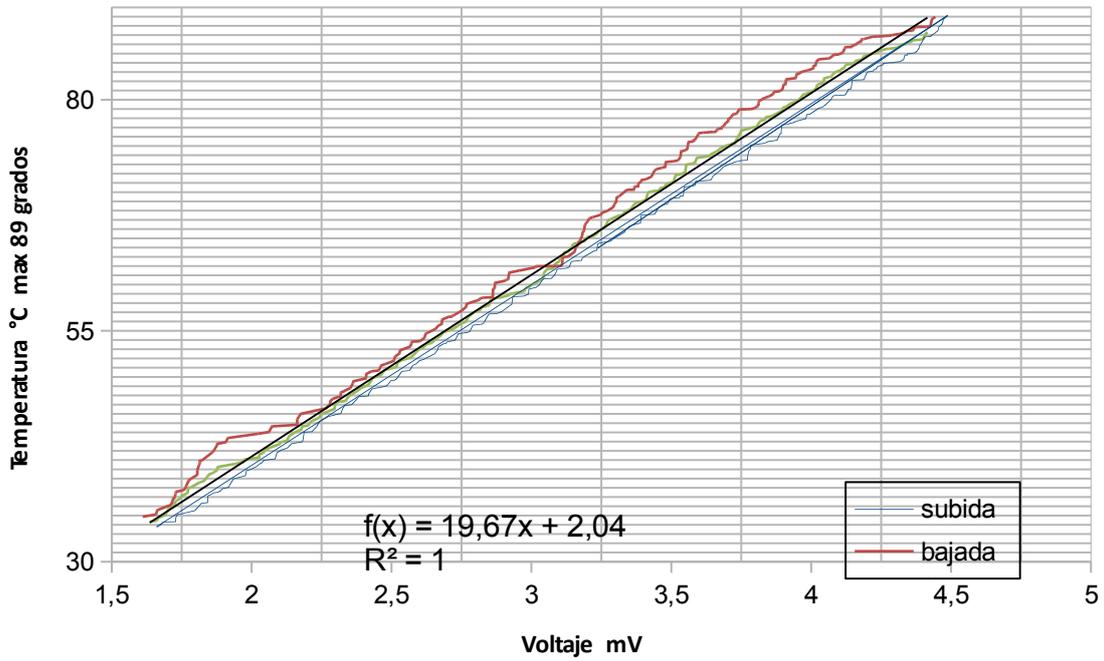
Valor de referencia (°C)	Valor medido (°C)	Corrección (°C)
20,3	20,14	0,16
20,2	20,14	0,06
20,2	20,13	0,07
20,3	20,13	0,17
20,2	20,13	0,07
20,2	20,13	0,07
20,2	20,12	0,08
20,2	20,13	0,07
20,2	20,13	0,07
20,3	20,12	0,18
20,222222	20,1311111	0,091
Desviación estándar de la corrección		0,006009252125773
Promedio de la corrección		0,0911

promedio, y curva ideal del termistor.

Tabla 6. Valores tomados en condiciones iguales del termistor.

Temperatura vs Voltage

Figura 19. Análisis de datos de curvas



de subida, bajada,

Valor de referencia (°C)	Valor medido (°C)	Corrección (°C)
20,3	23,5	3,2
20,2	23,48	3,28
20,2	23,48	3,28
20,3	23,46	3,16
20,2	24,07	3,87
20,2	23,58	3,38
20,2	23,45	3,25
20,2	23,16	2,96
20,2	23,72	3,52
20,3	23,45	3,15
20,23	23,535	3,305
Desviación estándar de la corrección		0,23344045160264
Promedio de la corrección		3,305

promedio y curva ideal de la termocupla tipo J.

Tabla 7. Valores tomados en condiciones iguales de la termocupla tipo J.

RESISTENCIA VS TEMPERATURA

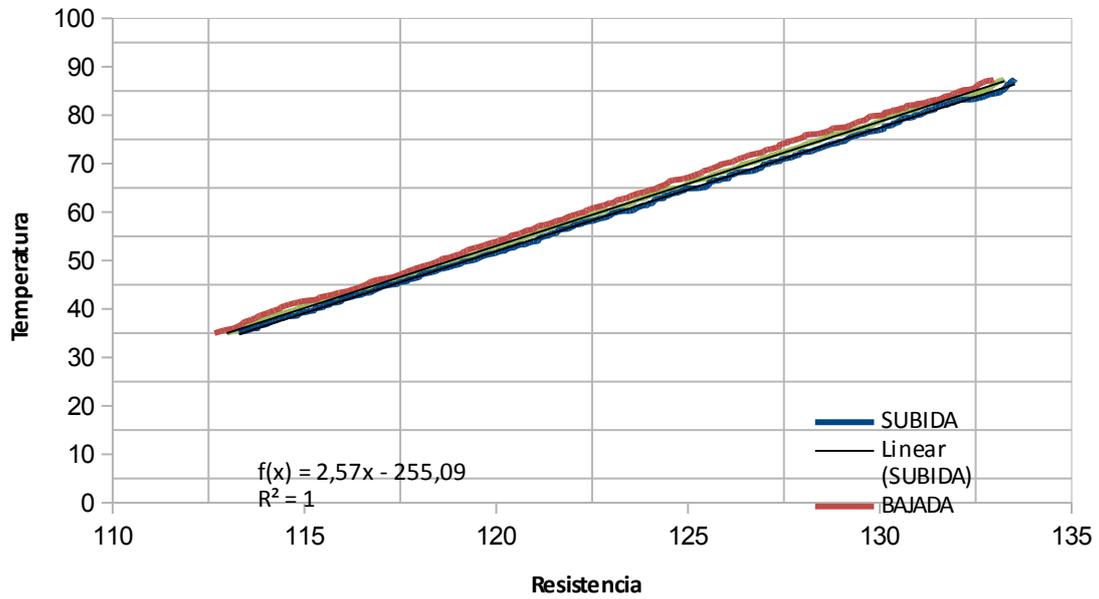


Figura 20. Análisis de resultados de curvas de subida, bajada, promedio y curva ideal de la pt100.

Valor de referencia (°C)	Valor medido (°C)	Corrección (°C)
20,3	22,17	1,87
20,2	22,23	2,03
20,2	21,96	1,76
20,3	22,21	1,91
20,2	22,19	1,99
20,2	22,25	2,05
20,2	22,24	2,04
20,2	22,16	1,96
20,2	22,28	2,08
20,3	22,21	1,91
20,23	22,19	1,96
Desviación estándar de la corrección		0,088694231304334
Promedio de la corrección		1,96

Tabla 8. Valores tomados en condiciones iguales de la PT100.

Analizando los datos obtenidos, podemos obtener datos como la histéresis, que es la diferencia que hay entre la curva de subida y la de bajada, sus valor máximo y mínimo, como su promedio.

- Termistor

Prom histéresis: 216,44 $\Omega/^{\circ}\text{C}$	Máximo valor: 726 Ω	Mínimo valor: 47 Ω
---	----------------------------	---------------------------

- Termocupla tipo

Prom histéresis: 0,135 mV/ $^{\circ}\text{C}$	Máximo valor: 0,341 mV	Mínimo valor: 0,001 mV
---	------------------------	------------------------

- PT100

Prom histéresis: 0,0487 $\Omega/^{\circ}\text{C}$	Máxima valor: 1,40 Ω	Mínimo valor: 0 Ω
---	-----------------------------	--------------------------

Por último se observa que el termistor (figura18) no es nada lineal, ya que la linea ideal, solo intercepta unos pocos puntos, y no en su gran mayoría, en cuanto a la termocupla (figura19) se observa que la linea de tendencia tiene una pendiente de 19,67, y la pendiente ideal es de 19,03, y por último tenemos la PT100 (figura 20) que como también se observa que la linea de tendencia tiene una pendiente de 2,5674, y la pendiente ideal es de 2,5925.

6 Conclusiones

Los resultados se puede ver claramente, que el de mejor calidad e implementación es el termistor, ya que su histéresis es menor de 0,5 también su precisión es bastante alta, como su exactitud, aunque no es lineal. En cuanto a la termocupla su implementación es bastante complicada, se puede ver también que su histéresis es bastante elevada, en cuanto a su precisión es buena, pero su exactitud es mala y se observa que es linea, y muy parecida a la línea ideal. Por último tenemos la PT100 cabe destacar que su implementación es la más

sencilla, a comparación de las otras 2, su histéresis es bastante buena, en cuanto a su precisión y exactitud son buenas, y su linealidad es muy parecida a la ideal.

En base a lo anterior podemos concluir que el termistor tiene excelentes respuestas a temperaturas entre 0 a 100 (°C), luego tenemos la PT100, que también tiene excelentes respuestas, aunque tiene algunos fallos en su exactitud, y por último la termocupla, que tiene respuestas bastante buenas, a pesar de que su histéresis sea bastante alta.

La posibilidad de poder caracterizar sensores de temperatura, sin la necesidad de usar circuitos de acondicionamiento de señal, con tan solo unas pocas resistencias, y un microcontrolador, podemos obtener un sensor de bastante calidad, para cualquier tipo de aplicación donde sea necesario monitorear la temperatura, así mismo también se pueden agregar otros sensores para una aplicación de mayor complejidad.

Referencias

- [1] Levbold. Sensor Cassy 2. LG Didactic Mobile Cassy (524 009). Disponible en: <http://www.ld-didactic.de/documents/en-US/GA/GA/5/524/524009Ae.pdf>
- [2] Cypress. Delta Sigma Analog to Digital Converter (ADC DelSig). Disponible en: <http://www.cypress.com/documentation/component-datasheets/delta-sigma-analog-digital-converter-adcdelsig>
- [3] Bastidas. G. Alfonso, “Diseño y construcción de un prototipo para medición de temperatura utilizando termocuplas”. Escuela Politécnica Nacional. Febrero 2002. Pp. 10 – 30. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10468/3/T1949.pdf>
- [4] Cypress. Thermal management. RTD, Thermocouple and Thermistor. Disponible en: <http://www.cypress.com/applications/thermal-management>
- [5] Aragonés J. García C. Benito Z. Gil A. and Moreno Daniel. “Sensores de temperatura”, Pp 4 - 25. Disponible en: http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2003-04/0.Sens_Temp/ARCHIVOS/SensoresTemperatura.pdf
- [6] Arian Control & Instrumentación, PT100. su operación, instalación y tablas, Pp 1 - 5 Disponible en: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>
- [7] David Southworth de Isothermal, “Calibración de temperatura desde la industria al ITS-90”. Pp 4 – 30.