

PROYECTO DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA DE TELEMEDICINA PARA EL MONITOREO DE BIOSEÑALES



PRODUCTO P01 UNIDAD MODULAR DE TEMPERATURA CORPORAL

Actividades

- A01 – 1: Diseño y estructuración de las diferentes etapas que componen el circuito de Temperatura.
- A01 – 2: Selección del sensor y de los circuitos electrónicos a utilizar para la obtención de la Bioseñal.
- A01 – 3: Montaje de los circuitos electrónicos en protoboard para obtener el valor de la temperatura Corporal.
- A01 – 4: Implementación y medidas de comprobación del circuito de Temperatura Corporal

OBJETIVOS

- Caracterizar el sensor para la toma de la Temperatura Corporal entre el rango de 10°C a 50°C, en intervalos de 1°C.
- Diseñar un circuito electrónico que capture la señal proveniente del sensor y la convierta en una señal electrónica para su posterior tratamiento.
- Realizar pruebas del valor de Temperatura con el instrumento desarrollado, un termómetro clínico y un termómetro de mercurio para identificar el error del instrumento y su corrección por medio de software embebido.
- Desarrollar en lenguaje assembler un programa que controle el conversor análogo – digital, envíe los datos al microcontrolador maestro y realice la corrección de los datos de temperatura obtenidos con el circuito electrónico.

INTRODUCCIÓN

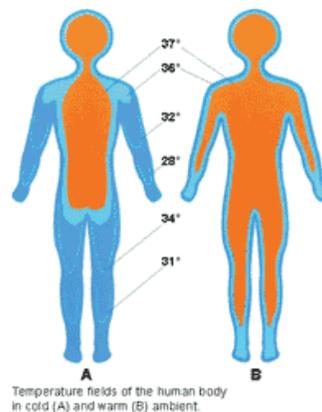


Figura No. 1 Temperatura Corporal

La temperatura corporal (Figura No. 1) es la medida del grado de calor de un organismo, y desempeña un papel importante para determinar las condiciones de supervivencia de los seres vivos. Así, los seres humanos necesitan un rango muy limitado de temperatura corporal para poder sobrevivir, y tienen que estar protegidos de temperaturas extremas.

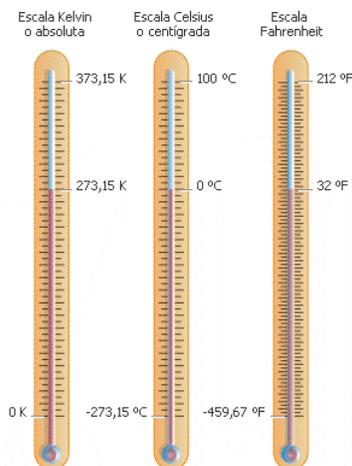


Figura No. 2 Escalar para la medición de la Temperatura

La temperatura se puede expresar mediante la escala (Figura No. 2) Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), Celsius ($^{\circ}\text{C}$) o Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$). Las equivalencias entre estos sistemas son: $^{\circ}\text{C} = 0.555 (^{\circ}\text{F} - 32)$, $^{\circ}\text{F} = 1.8 (^{\circ}\text{C}) + 32$ y $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$. El astrónomo sueco Anders Celsius ideó la escala de temperatura centígrada asignando el valor 0 al punto de congelación del agua (0°C) y el valor 100 al de ebullición (100°C).

Mecanismos de producción y disipación del calor:

- ✓ Aumento del calor:
 - Estimulación del tejido muscular.
 - Disminución del flujo sanguíneo, piel y tejido subcutáneo.
- ✓ Pérdida de calor:
 - Convección.
 - Radiación.
- ✓ Evaporación.

La temperatura corporal es una magnitud física que puede ser determinada por un termómetro y que caracteriza, de manera objetiva, el grado de calor corporal. La Temperatura normal de los seres humanos varía entre los $36.5 - 37.5^{\circ}\text{C}$. En general se habla de:

- ✓ Hipotermia, cuando la temperatura corporal es inferior a los 36°C .
- ✓ Febrícula, cuando la temperatura es de $37.1-37.9^{\circ}\text{C}$.
- ✓ Hipertermia o fiebre, cuando la temperatura es igual o superior a 38°C .

Factores que afectan a la temperatura corporal

La temperatura corporal se puede ver modificada por diferentes factores, los cuales hay que tener en cuenta a la hora de realizar su determinación:

- ✓ La edad: El recién nacido presenta problemas de regulación de la temperatura debido a su inmadurez, de tal modo que le afectan mucho los cambios externos. En el anciano la temperatura corporal suele estar disminuida (36°C).
- ✓ La hora del día: A lo largo de la jornada las variaciones de la temperatura suelen ser inferiores a 1.5°C . La temperatura máxima del organismo se alcanza entre las 18 y las 22 horas y la mínima entre las 2 y las 4 horas. Este ritmo circadiano es muy constante y se mantiene incluso en los pacientes febriles.
- ✓ El sexo: En la segunda mitad del ciclo, desde la ovulación hasta la menstruación, la temperatura se puede elevar entre $0.3-0.5^{\circ}\text{C}$.
- ✓ El ejercicio físico: La actividad muscular incrementa transitoriamente la temperatura corporal.
- ✓ El estrés: Las emociones intensas como el enojo o la ira activan el sistema nervioso autónomo, pudiendo aumentar la temperatura.
- ✓ Los tratamientos farmacológicos.
- ✓ Las enfermedades.
- ✓ La temperatura ambiente y la ropa que se lleve puesta.
- ✓ La ingesta reciente de alimentos calientes o fríos, el haberse fumado un cigarrillo, la aplicación de un enema y la humedad de la axila o su fricción (por el ejemplo al secarla) pueden afectar el valor de la temperatura oral, rectal y axilar respectivamente, por lo que se han de esperar unos 15 minutos antes de tomar la constante. Si la axila está húmeda, se procederá a secarla mediante toques.

Lugares donde se puede tomar la temperatura corporal

La temperatura corporal se puede determinar en tres zonas: la axila, la boca y el recto. Las dos últimas son las que nos dan una idea más precisa de la temperatura real del organismo, ya que el termómetro se aloja en una de sus cavidades ("temperatura interna", frente a la "temperatura externa" axilar). En general, la temperatura rectal suele ser 0.5°C mayor que la oral y, ésta, 0.5°C mayor que la axilar.

Temperatura Rectal 0.5°C > Temperatura Oral 0.5°C > Temperatura Axilar

Temperatura rectal: Es la más exacta de las tres, aunque es la más incómoda. Está indicada en los niños menores de 6 años y en los enfermos inconscientes o confusos. Sus contraindicaciones son: pacientes con cirugía o trastornos rectales y pacientes con tracción o yeso en la pelvis o en las extremidades inferiores.

Temperatura oral o bucal: Entre sus ventajas se encuentran el ser accesible y cómoda, además de bastante fiable. Como desventajas hay que mencionar el posible riesgo de lesión y/o de intoxicación por mercurio si el termómetro se rompe dentro de la cavidad oral. Está contraindicada en las siguientes situaciones:

- ✓ Bebés y niños menores de 6 años, ya que su comportamiento es imprevisible.
- ✓ Pacientes con patologías y cirugías orales o que tienen dificultad para respirar por la nariz (incluidos los enfermos con sonda nasogástrica).
- ✓ Pacientes inconscientes, confusos, alterados o con convulsiones.
- ✓ Pacientes que están recibiendo oxígeno a través de una mascarilla.

Temperatura axilar: Es la más cómoda y segura, aunque la menos exacta ("temperatura externa").

<i>Comodidad, precisión y seguridad de los lugares donde se puede determinar la temperatura corporal</i>			
	Comodidad	Precisión	Seguridad
Temperatura rectal	+	+++	++
Temperatura oral	++	++	+
Temperatura axilar	+++	+	+++

Instrumentos más comúnmente usados para la toma de la Temperatura Corporal

- **Termómetro de vidrio de mercurio:** es un cilindro de vidrio hueco con un depósito de mercurio en el fondo y el extremo superior cerrado. Tiene una escala graduada que va desde los 35 hasta los 42 °C. En un termómetro se distinguen dos partes: el tallo, que comprende la zona de la escala graduada y el bulbo, que es donde se aloja el mercurio. Al aumentar la temperatura el mercurio se dilata y asciende por el capilar; una escala graduada permite leer directamente el valor de la temperatura. Este termómetro es el más usado, aunque no el más preciso. Existen dos tipos de termómetros de mercurio: el bucoaxilar y el rectal. La única diferencia entre ambos es la forma del bulbo, que en el rectal es más redondeado y corto.
- **Termómetro digital:** es una alternativa segura frente a los termómetros de vidrio con mercurio, ya que no se debe temer al riesgo de vidrio roto o intoxicación por mercurio. La lectura es muy sencilla y rápida. Se utiliza de la misma manera que el termómetro de vidrio, pero la lectura se realiza a través de un dispositivo visual digital. Es importante comprobar su calibración.
- **Termómetro de tira plástica:** las tiras plásticas contienen un cristal líquido sensible al calor, el cual cambia de color para indicar la temperatura. La tira se debe colocar en la frente y se lee cuando todavía está en su lugar después de un minuto. Este método no es muy confiable.
- **Termómetro de oído:** son digitales y la lectura se realiza en un display a los pocos segundos de situado el instrumento en el canal auditivo.

DIAGRAMA A BLOQUES PARA LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA CORPORAL

En las figuras No. 3 y No. 4 se representan tanto el esquema general como las diferentes etapas que conforman el módulo de temperatura corporal.

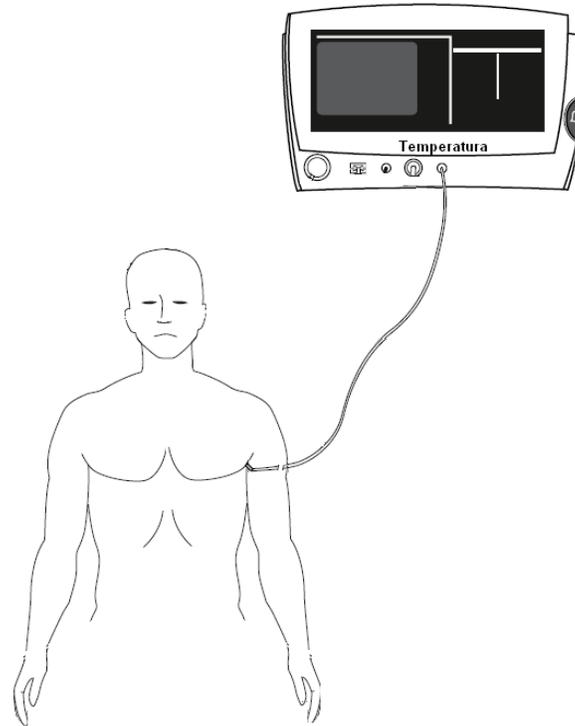


Figura No. 3 Forma de medición de la Temperatura Corporal

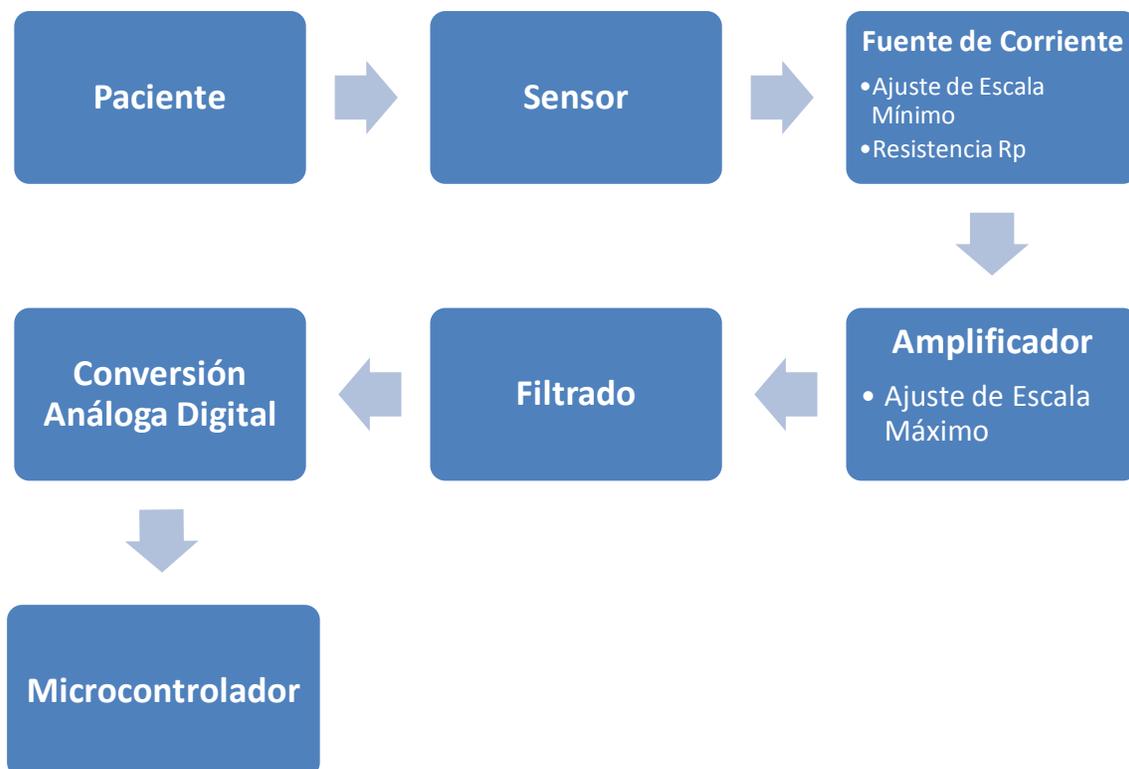


Figura No. 4 Diagrama a bloques de la Medición de la Temperatura Corporal

PACIENTE

El paciente es alguien que sufre dolor o malestar. En términos sociológicos y administrativos es el sujeto que recibe los servicios de un médico u otro profesional de la salud. Sometiéndose a un examen médico, tratamiento o intervención. El paciente tiene derecho a ser asistido y ausentarse de actividades habituales y responsabilidades. A la vez el paciente tendrá la obligación de querer mejorar y superar la enfermedad lo antes posible, siguiendo las recomendaciones médicas y el tratamiento.

El individuo sigue unas etapas hasta llegar a ser paciente: la identificación de síntomas, diagnóstico, tratamiento y resultado.

SENSOR

El sensor empleado para obtener la medición de la Temperatura Corporal es genérico de aplicación clínica, utilizado en los monitores de Signos Vitales (Figura No. 5). El sensor es un termistor tipo NTC.



Figura No. 5 Sensor utilizado para medir la Temperatura Corporal

Introducción

Un Termistor NTC (Negative Temperature Coefficient) es una resistencia variable cuyo valor va decreciendo a medida que aumenta la temperatura. Son resistencias de coeficiente de temperatura negativo, constituidas por un cuerpo semiconductor cuyo coeficiente de temperatura es elevado, es decir, su conductividad crece muy rápidamente con la temperatura. Altamente sensibles a cambios de temperatura. La curva característica de un Termistor NTC se presenta a continuación en la Figura No. 6:

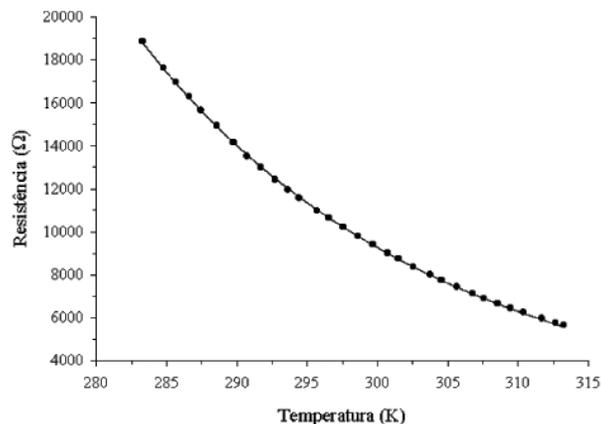


Figura No. 6 Comportamiento de un Termistor NTC

La relación entre la resistencia y la temperatura no es lineal sino exponencial:

$$R = A * e^{\frac{B}{T}}$$

Donde A y B son constantes que dependen del termistor

El termistor se fabrica a partir de óxidos metálicos comprimidos y sintetizados. Los metales utilizados son níquel, cobalto, manganeso, hierro, cobre, magnesio y titanio, como típicas se pueden considerar las preparaciones de óxido de manganeso con cobre y óxido de níquel con cobre. Modificando las proporciones de óxido se puede variar la resistencia básica de un termistor; se dispone de termistores con resistencias básicas a 25 °C desde unos pocos cientos hasta varios millones de ohmios.

Los termistores sirven para la medición o detección de temperatura tanto en gases, como en líquidos o sólidos. Las configuraciones constructivas del termistor de uso más común son los glóbulos, las sondas y los discos. Los glóbulos se fabrican formando pequeños elipsoides de material de termistor sobre dos alambres finos separados unos 0,25 mm. Normalmente recubiertos con vidrio por razones de protección, son extremadamente pequeños (0,15 mm a 1,3 mm de diámetro) y ofrecen una respuesta extremadamente rápida a variaciones de temperatura.

La característica tensión-intensidad (V/I) de un termistor NTC presenta un carácter peculiar ya que, cuando las corrientes que lo atraviesan son pequeñas, el consumo de potencia ($R \cdot I^2$) será demasiado pequeño para registrar aumentos apreciables de temperatura, o lo que es igual, descensos en su resistencia óhmica; en esta parte de la característica, la relación tensión-intensidad será prácticamente lineal y en consecuencia cumplirá la ley de Ohm.

Si se sigue aumentando la tensión aplicada al termistor, se llegará a un valor de intensidad en que la potencia consumida provocará aumentos de temperatura suficientemente grandes como para que la resistencia del termistor NTC disminuya apreciablemente, incrementándose la intensidad hasta que se establezca el equilibrio térmico. Ahora se encuentra, pues, en una zona de resistencia negativa en la que disminuciones de tensión corresponden aumentos de intensidad.

Se emplean fundamentalmente entre los -50°C y los 150°C no obstante las unidades encapsuladas pueden alcanzar los 300°C. En la mayoría de aplicaciones el valor de resistencia a 25°C está entre 100ohm. Y 100kohm. Aunque se pueden producir con resistencias tan bajas como 10ohm. o tan altas como 40Mohm.

Caracterización del Termistor NTC

La medición de temperatura corporal se realiza entre el rango de 10°C a 50°C; para esto, el termistor NTC utilizado, representa unos valores de resistencia que corresponden a 4.09KΩ para 10°C y 748Ω para 50°C con un valor de 2.07kΩ a temperatura ambiente (25°C); con estos valores se grafica la curva para el termistor utilizado (Figura No. 7).

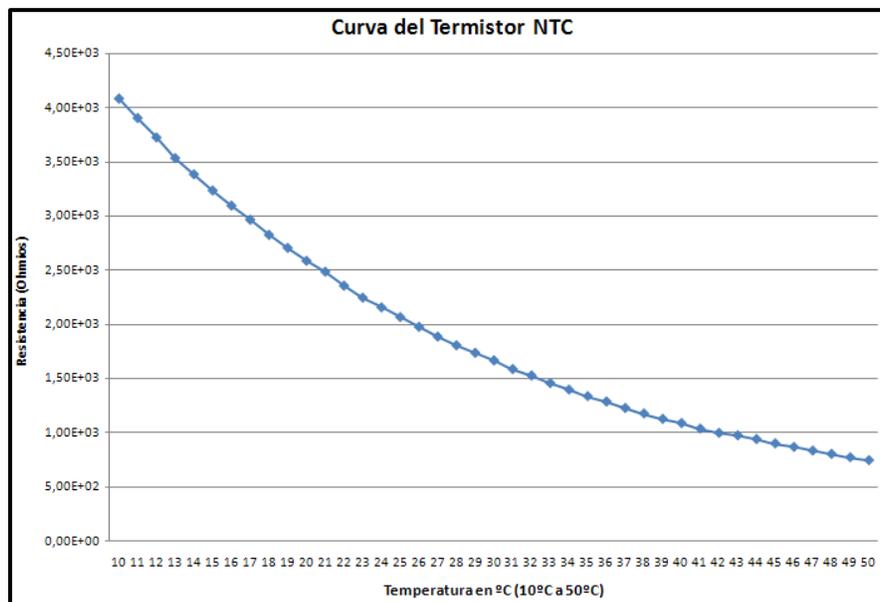


Figura No. 7 Gráfica de la Caracterización del Sensor

Para caracterizar el sensor se utilizó un instrumento tipo “baño maría”, en donde se controlaba la temperatura desde 10°C hasta 50°C (Figura No. 8). En este recipiente se introducía el sensor, un termómetro clínico y un termómetro de mercurio; la lectura del sensor se obtenía por medio de un Multímetro Digital, el termómetro clínico presentaba su lectura en una pantalla.



Figura No. 8 Baño María utilizado para caracterizar el Sensor

El procedimiento consta de la toma de la lectura de la resistencia del sensor en el rango de 10°C hasta 50°C en aumentos de 1°C. Las pruebas se realizaron 20 veces de forma ascendente (de 10 a 50°C) y descendientemente (de 50 a 10°C). Estas lecturas se registraron en Excel para obtener un promedio de todas las lecturas tomadas y su posterior graficación (Figura No. 7) del sensor de temperatura caracterizado. Los valores finales son:

°C	Vo Ideal	Rtherm
10	1	4,09E+03
11	1,1	3,91E+03
12	1,2	3,73E+03
13	1,3	3,54E+03
14	1,4	3,39E+03
15	1,5	3,24E+03
16	1,6	3,10E+03
17	1,7	2,97E+03
18	1,8	2,83E+03
19	1,9	2,71E+03
20	2	2,59E+03
21	2,1	2,49E+03
22	2,2	2,36E+03
23	2,3	2,25E+03
24	2,4	2,16E+03
25	2,5	2,07E+03
26	2,6	1,98E+03
27	2,7	1,89E+03
28	2,8	1,81E+03
29	2,9	1,74E+03
30	3	1,67E+03
31	3,1	1,59E+03
32	3,2	1,53E+03
33	3,3	1,46E+03
34	3,4	1,40E+03
35	3,5	1,34E+03
36	3,6	1,29E+03
37	3,7	1,23E+03
38	3,8	1,18E+03
39	3,9	1,13E+03
40	4	1,09E+03
41	4,1	1,04E+03
42	4,2	1,00E+03
43	4,3	977
44	4,4	943
45	4,5	903
46	4,6	870
47	4,7	836
48	4,8	806
49	4,9	775
50	5	748

FUENTE DE CORRIENTE

Para obtener una medición exacta de la temperatura por medio de un Termistor NTC se debe suministrar al sensor una corriente constante, independientemente de la tensión existente. Para lograr esto se utilizó un voltaje de referencia, un amplificador operacional con arreglo de resistencias y condensadores.

En esta etapa también se realiza linealización y calibración del circuito para la mínima escala de 10°C que corresponde a una resistencia de $4.09\text{K}\Omega$ para el sensor, esto se obtiene por medio de un trimmer.

La técnica más utilizada, y la más sencilla, para linealizar la respuesta de la NTC en un rango de temperaturas determinado es colocar una resistencia de valor fijo (R_p) en paralelo con dicha NTC. La resistencia resultante del paralelo de ambas, sigue siendo variable con la temperatura, con una linealidad superior a la NTC sola, aunque a costa de una menor sensibilidad con dicha temperatura. El valor de la resistencia R_p para el circuito es el valor a 25°C .

La Fuente de corriente corresponde al siguiente Diagrama (Figura No. 9):

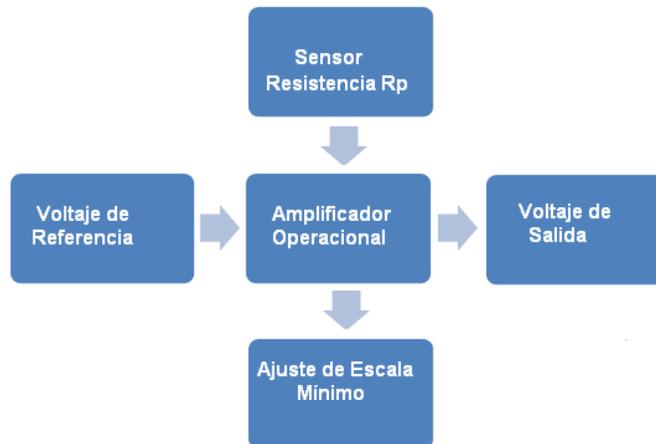


Figura No. 9 Diagrama de la fuente de corriente

AMPLIFICADOR

Esta etapa consta de un amplificador Operacional, cuya función, como su nombre lo indica es amplificar la señal proveniente de la fuente de corriente. De igual manera se encuentra un trimmer o potenciómetro cuya función es ajustar la escala a 50°C (Figura No. 10).



Figura No. 10 Amplificador

La salida de este circuito nos provee un voltaje proporcional a la temperatura en grados Centígrados, de 1.0 a 5.0 Voltios en un rango de 10°C a 50°C . Este voltaje de salida presenta un Porcentaje de error con respecto a la lectura real o ideal, como se observa a continuación:

°C	Voltaje de Salida Ideal	Voltaje de Salida del Instrumento	°C	Voltaje de Salida Ideal	Voltaje de Salida del Instrumento
10	1,0	1,00	31	3,10	3,11
11	1,10	1,09	32	3,20	3,21
12	1,20	1,18	33	3,30	3,31
13	1,30	1,28	34	3,40	3,42
14	1,40	1,37	35	3,50	3,52
15	1,50	1,47	36	3,60	3,63
16	1,60	1,57	37	3,70	3,73
17	1,70	1,66	38	3,80	3,83
18	1,80	1,76	39	3,90	3,94
19	1,90	1,86	40	4,0	4,04
20	2,0	1,96	41	4,10	4,14
21	2,10	2,06	42	4,20	4,24
22	2,20	2,17	43	4,30	4,34
23	2,30	2,27	44	4,40	4,43
24	2,40	2,37	45	4,50	4,53
25	2,50	2,48	46	4,60	4,63
26	2,60	2,58	47	4,70	4,72
27	2,70	2,69	48	4,80	4,82
28	2,80	2,79	49	4,90	4,91
29	2,90	2,90	50	5,0	5,00
30	3,0	3,00			

Este pequeño error se ajusta con el software del microcontrolador, obteniendo una lectura exacta de la temperatura que presenta el cuerpo humano.

En la Figura No. 11 se presenta la gráfica con el voltaje de salida obtenido por medio del circuito electrónico diseñado y el voltaje ideal de acuerdo a la temperatura. De igual manera se puede observar el pequeño error que se contempló anteriormente, el cual va a eliminar por el software embebido en el microcontrolador. Con este arreglo por software el circuito tiene un porcentaje de error de 0.1°C.

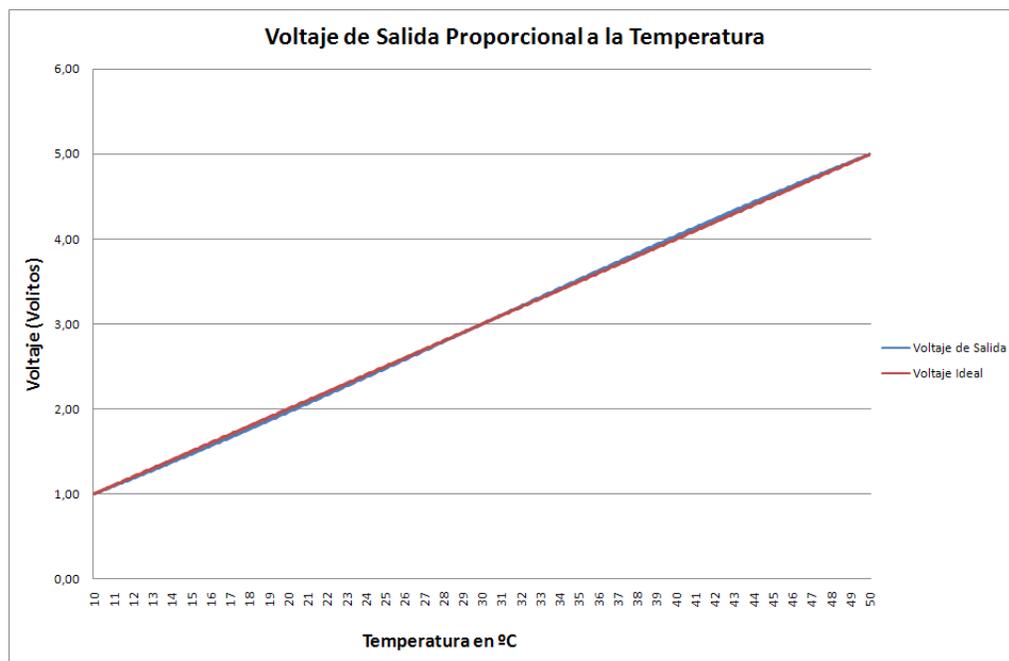


Figura No. 11 Representación Gráfica del Voltaje de Salida y Voltaje Ideal

FILTRADO

A la salida del circuito se realiza un filtrado pasivo (Figura No. 12) con una frecuencia de 15Hz, conformado por una resistencia y un condensador tipo pasa bajo. Este filtro introduce muy poca atenuación a las frecuencias que son menores de 15Hz y las frecuencias que son mayores a esta son atenuadas fuertemente.

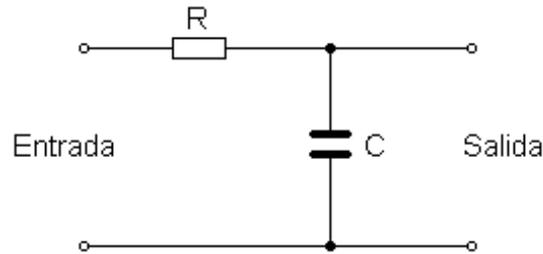


Figura No. 12 Filtrado Pasivo

CONVERSIÓN ANÁLOGA – DIGITAL

Una vez obtenido el voltaje correspondiente a la temperatura se procede a convertir esta señal de forma digital, para esto se utiliza un conversor Análogo – Digital.

Una conversión analógica-digital (CAD) consiste en la transcripción de señales analógicas en señales digitales, con el propósito de facilitar su procesamiento (codificación, compresión, etc.) y hacer la señal resultante (la digital) más inmune al ruido y otras interferencias a las que son más sensibles las señales analógicas (Figura No. 13).

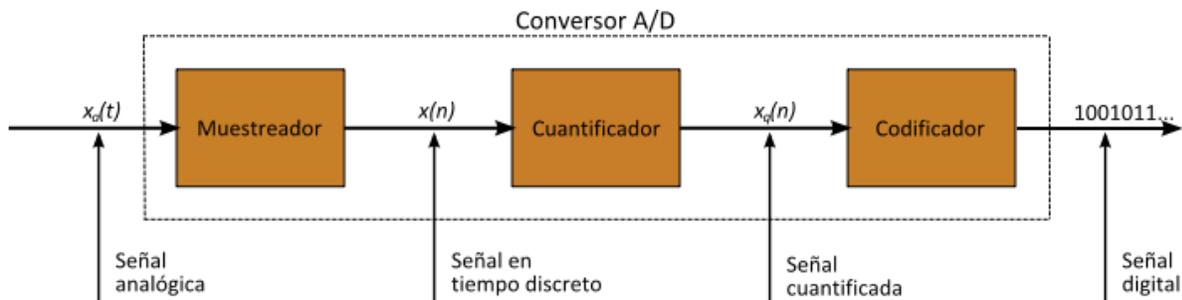


Figura No. 13 Etapas para la Conversión Análoga Digital

Un conversor analógico-digital (CAD) es un dispositivo electrónico capaz de convertir un voltaje determinado en un valor binario, en otras palabras, este se encarga de transformar señales análogas a digitales.

Estos conversores poseen dos señales de entrada llamadas V_{ref+} y V_{ref-} y determinan el rango en el cual se convertirá una señal de entrada. El dispositivo establece una relación entre su entrada (señal analógica) y su salida (digital) dependiendo de su resolución.

Esta resolución se puede saber, siempre y cuando se conozca el valor máximo que la entrada de información utiliza y la cantidad máxima de la salida en dígitos binarios. El convertidor análogo digital que se utilizó tiene la capacidad de convertir una muestra analógica de entre 0 – 5 voltios a 12 bits y su resolución es:

Resolución = 2.44 mVoltios

Lo anterior quiere decir que por cada 2.44 milivoltios que aumente el nivel de tensión en la entrada al conversor (consecuencia del cambio de la temperatura), éste aumentará en una unidad su salida (siempre sumando en forma binaria bit a bit). Este conversor es controlado por el microcontrolador por medio de protocolo I²C (bus de comunicaciones serie).

MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, se trata de un computador completo en un solo circuito integrado.

La función de este dispositivo es controlar la conversión Análoga – Digital, realizar la corrección respectiva por medio de un software y enviar los datos para que sean leídos por el módulo que envía los datos al PC.

La comunicación de este dispositivo con el conversor la realiza por el protocolo I²C. I²C es un bus de comunicaciones serie. Su nombre viene de Inter-Integrated Circuit (Circuitos Inter-Integrados). La principal característica de I²C es que sólo usa dos hilos para transmitir la información: por uno van los datos y por otro la señal de reloj que sirve para sincronizarlos. También es necesaria una tercera línea, pero esta sólo es la referencia (masa). Como suelen comunicarse circuitos en una misma placa que comparten una misma masa esta tercera línea no suele ser necesaria.

Las líneas se llaman (Figura No.14):

- SDA: datos
- SCL: reloj
- GND: masa

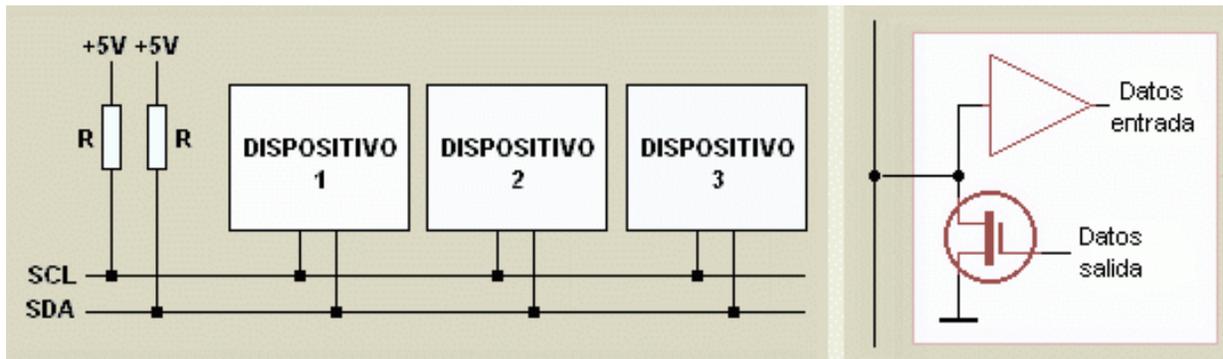


Figura No. 14 Comunicación I²C

Los dispositivos conectados al bus I²C tienen una dirección única para cada uno. También pueden ser maestros o esclavos. El dispositivo maestro inicia la transferencia de datos y además genera la señal de reloj, pero no es necesario que el maestro sea siempre el mismo dispositivo, esta característica se la pueden ir pasando los dispositivos que tengan esa capacidad. Esta característica hace que al bus I²C se le denomine bus multimaestro.

El software embebido se desarrolló en assembler con el programa MPLAB, cuya función es la comunicación con el conversor A/D, el maestro para el envío de datos al PC y la corrección de los datos de temperatura corporal.

PROCEDIMIENTO PARA CALIBRAR EL CIRCUITO DE TEMPERATURA

Para el desarrollo de la calibración se dispone de un baño maría dotado de una resistencia eléctrica, lo que permite subir la temperatura del mismo. Instaladas en su tapa se encuentran varias sondas de temperatura, entre ellas una sonda que actuará como referencia.

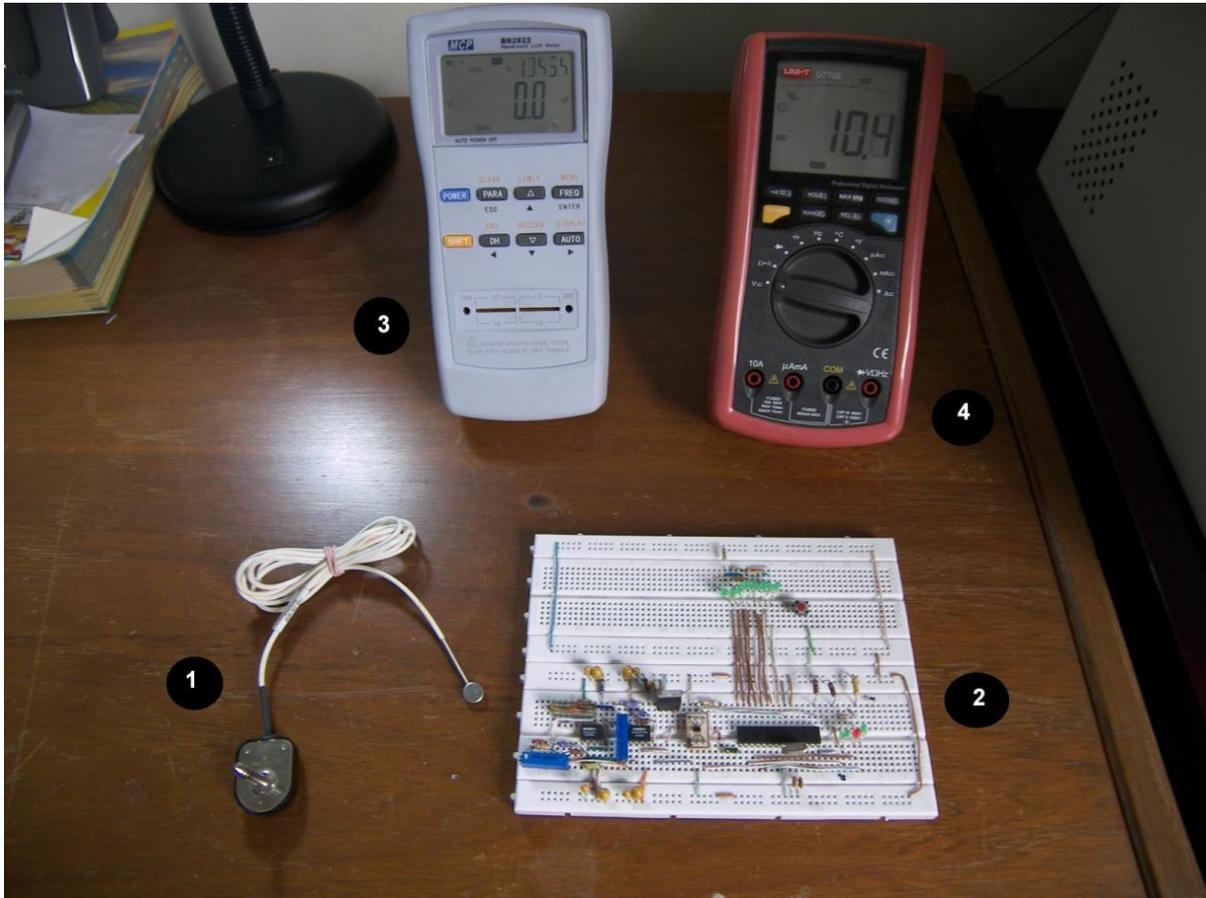
Ajuste de 10°C y 50°C

- Inicialmente el baño maría se encuentra lleno con una mezcla de agua y hielo por tanto a una temperatura a 10°C. Se conecta la sonda al circuito. Se ajusta el potenciómetro de escala mínima hasta que la tensión de salida sea 1.0 volts.

- Una vez ajustado el circuito, se enchufa a la red directamente el baño maria y comenzar a calentar, hasta alcanzar los 50 °C. Se desconecta la fuente de energía, por efecto de la inercia del sistema la temperatura subirá algunos grados. Se espera a que vuelva a bajar hasta los 50 °C. Ajustar el potenciómetro de escala máxima para obtener una tensión de salida de 5.0 Volts para esta temperatura.
- En este momento se calibra el sistema para una función de transferencia de (1.0 a 5.0 Voltios) para un rango de temperaturas de 10 a 50°C.

FOTOS DEL CIRCUITO DE TEMPERATURA

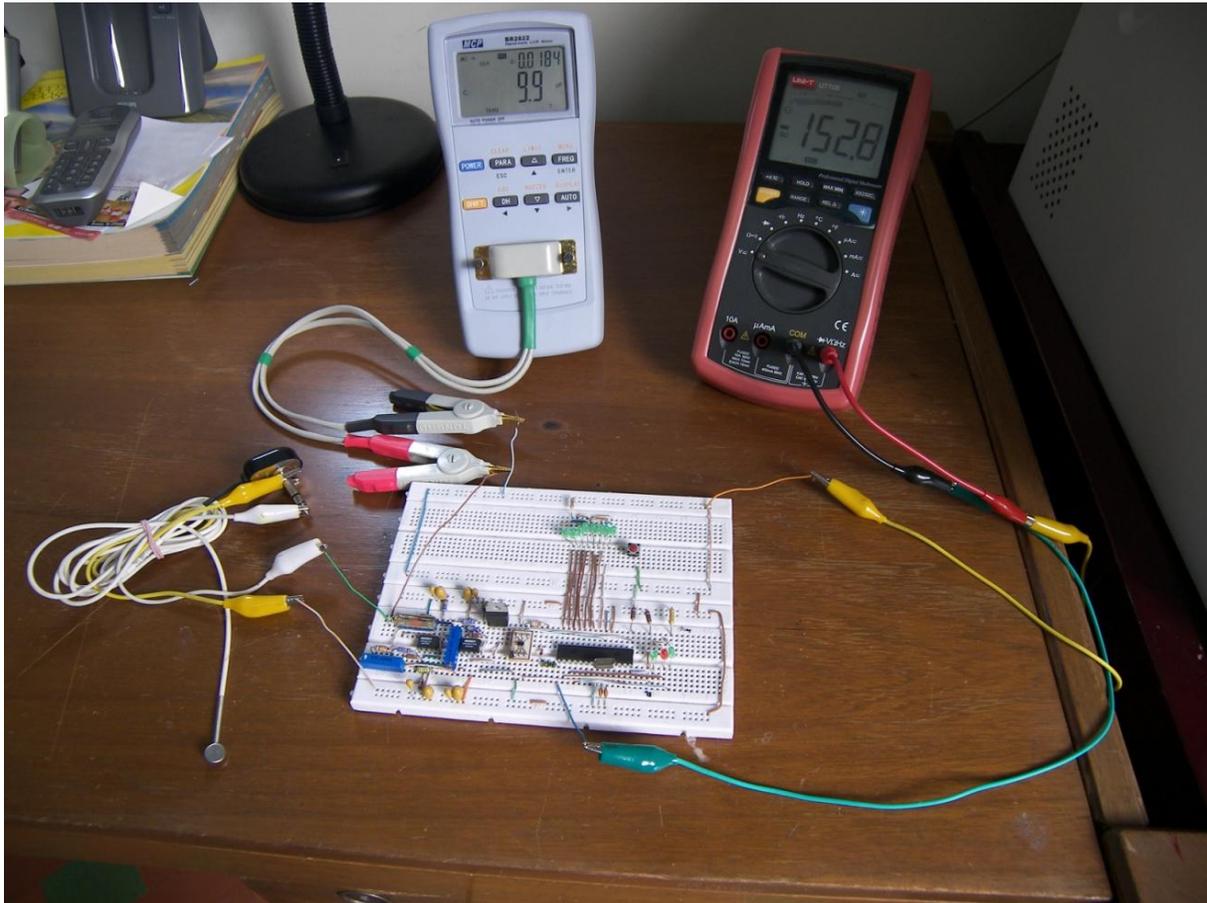
A continuación se relacionan imágenes fotografiadas de los elementos e instrumentos utilizados para la realización del modulo de temperatura corporal.



En esta foto se observan los elementos que se necesitaron para desarrollar el circuito de Temperatura:

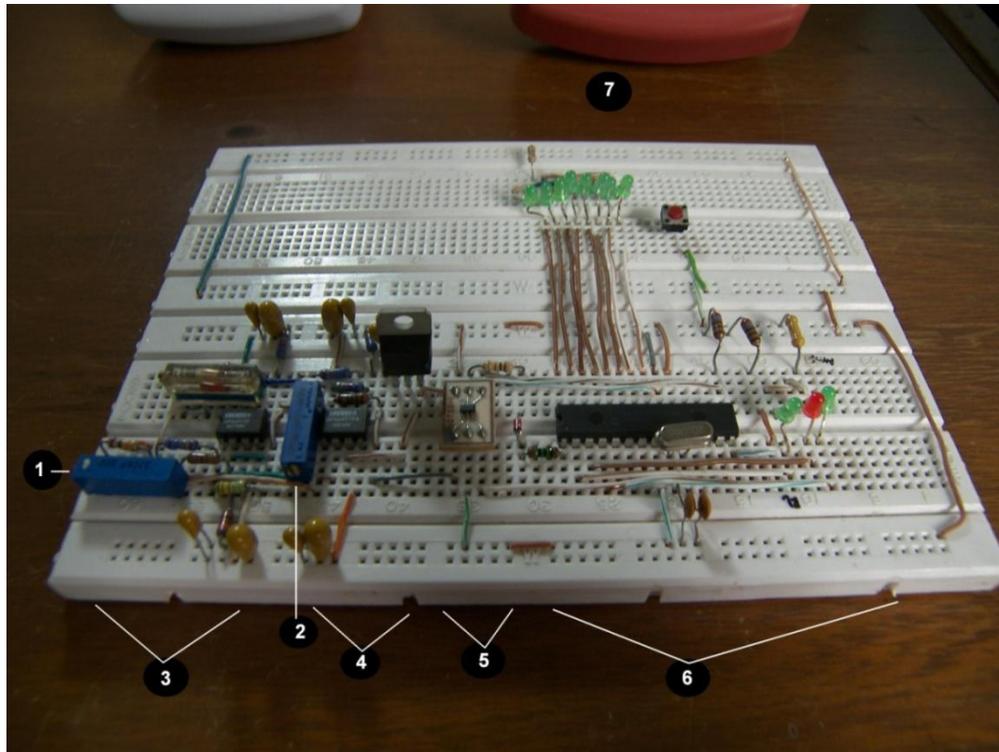
1. Sensor de Temperatura: Es un termistor tipo NTC, con una resistencia a 25°C de 4.09kΩ
2. Circuito de Temperatura: Se desarrolló en un protoboard; aquí se encuentran dispositivos electrónicos para la adquisición y tratamiento de la señal, corresponde a las etapas de fuente de corriente, amplificador, ajuste de escala mínimo y máximo, conversión analógica – digital y microcontrolador.
3. Multímetro LCR: Con este instrumento se mide la resistencia del termistor, a medida que esta va cambiando al aumentar o disminuir la temperatura.
4. Multímetro: En él se registra el voltaje de salida del circuito que es equivalente a los grados Centígrados de la Temperatura.

A continuación se presenta la foto con las respectivas conexiones de los instrumentos anteriormente mencionados:



En la siguiente gráfica se muestra el circuito de temperatura identificando sus diferentes etapas para la obtención de la señal:

1. Trimmer para el ajuste de escala mínimo, es decir, para calibrar el circuito a 10°C o a 1.0 Voltios.
2. Trimmer para el ajuste de escala máximo, es decir, para calibrar el circuito a 50°C o a 5.0 Voltios.
3. Etapa correspondiente a la Fuente de corriente, en donde se conecta el sensor con su respectiva resistencia R_p para la linealización.
4. Etapa de Amplificación.
5. Conversor Análogo Digital con una resolución de 2.44 MiliVoltios.
6. Microcontrolador, controla el conversor por medio del protocolo I²C, realiza la corrección de los datos y visualiza el dato digitalizado en Leds.
7. Leds, para visualizar de forma binaria el voltaje correspondiente a los grados Centígrados de la temperatura que está censando el circuito diseñado.



Los instrumentos utilizados para la realización de este módulo de Temperatura Corporal son: Multímetro (Registro del voltaje); Multímetro LCR (Registro de la Resistencia del Termistor NTC); Termómetro Clínico; Termómetro de Mercurio y Sensor de Temperatura:



En formato Digital se anexa un video, en donde se observa la variación del Voltaje (equivalente a la temperatura en Grados Centígrados) en el Multímetro a medida que va aumentando la temperatura, al acercar un "cautín" al sensor y de igual manera disminuye al momento de alejar el "Cautín".

CONCLUSIONES

- El circuito electrónico desarrollado utilizando un sensor tipo termistor NTC registra la lectura de la Temperatura Corporal en un rango comprendido entre 10°C a 50°C, con un porcentaje de error de 0.1°C.
- Los termistores resultan particularmente útiles para medir alcances reducidos de temperatura justamente a causa de sus grandes variaciones de resistencia, ventajosos para mediciones clínicas, por su gran sensibilidad a cualquier cambio de temperatura.
- Los resultados obtenidos con el circuito desarrollado resulta lineal en un intervalo de temperaturas de 10°C a 50°C, y no se presentan restricciones grandes para que pueda lograrse un intervalo de linealidad superior aún.
- La linealización del termistor NTC se realizó con una resistencia en paralelo, ofreciendo una linealización desde los 10°C, cabe destacar que al conectarse esta resistencia en paralelo, de acuerdo con el método de linealización, disminuye la corriente que circula por el termistor, con lo que se minimizan los errores por recalentamiento propio del componente.
- Se desarrolló un programa en lenguaje assembler que se comunica con el Conversor – Digital por medio del protocolo I²C, adquiere el valor binario correspondiente a la conversión del voltaje arrojado por el circuito electrónico, lo analiza y realiza su posterior corrección de los valores, obteniendo un porcentaje de error de 0.1°C.