

# Montaje y Caracterización de Sensores de Temperatura en el Módulo M-ECCI

TRABAJO DE GRADO

Albeiro Martínez Romero  
Alberto Alvarado Parra  
Carlos Quiroga Fontecha  
Diego Velandia Blanco  
Johan Estepa Romero  
Liliana Mojica Valbuena  
Mardo Barajas Hormiga  
Natalia Mateus Calderón

## Director

Ing. Jhon Bayona M.Sc.

Universidad ECCI

Facultad de Ingeniería

Bogotá D.C, Febrero de 2015



**NOTA DE ACEPTACION**

---

---

---

**PRESIDENTE DEL JURADO**

---

---

---

**JURADO 1**

---

---

---

**JURADO2**

---

---

---

**BOGOTA, FEBRERO DE 2015**

## Agradecimientos

Integrando un grupo selecto de estudiantes iniciamos formando parte de una nueva iniciativa una pasantía interna, con el propósito firme de dejar parte de nuestro legado a los futuros miembros de la institución y obtener la titulación como Ingenieros.

Como en todo nuevo proyecto enfrentamos diversos obstáculos, retrasos e inconvenientes, que nos mostraron retos por enfrentar y demostrar nuestras habilidades para brindar e implementar soluciones. Con pequeños pasos pero con firmeza, logramos implementar una herramienta didáctica y de gran utilidad para la universidad.

Este logro no hubiera sido posible sin el apoyo de Dios que nos brindó la sabiduría, el entendimiento y perseverancia para superar cada barrera en el camino, de nuestros familiares por su colaboración, paciencia y apoyo incondicional; de cada uno de nuestros compañeros por su compromiso y con los que trabajamos hombro a hombro para cumplir el objetivo trazado. A cada docente, asesor y colaborador por su conocimiento, experiencia y en general a la Institución por su total disposición y ayuda para llevar a feliz término el proyecto.

# Tabla de Contenido

AGRADECIMIENTOS .....	II
TABLA DE CONTENIDO .....	III
LISTA DE FIGURAS .....	VI
LISTA DE TABLAS .....	VIII
RESUMEN .....	IX
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>2</b>
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
JUSTIFICACIÓN.....	2
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>3</b>
OBJETIVOS.....	3
3.1 Objetivo general.....	3
3.2 Objetivos específicos.....	3
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>4</b>
MARCO TEÓRICO.....	4
4.1 Termopar .....	4
4.1.1 Principio de operación .....	4
4.1.2 Técnicas de Compensación de unión en frío...5	5
4.1.3 Tipos de termopares.....	6
4.2 Termistor .....	7
4.2.1 Principio de operación .....	8
4.2.2 Tipos de termistores.....	10
4.2.2.1 Termistores NTC .....	10
4.2.2.2 Termistores PTC .....	11
4.3 Resistance Temperature Detector (RTD).....	12
4.3.1 Tipos de RTD .....	13

CAPÍTULO 5 .....	15
DISEÑO METODOLÓGICO .....	15
5.1 Estado del Arte .....	15
5.2 Análisis de información de los sensores .....	16
5.3 Implementación de sensores .....	19
5.3.1 Ubicación Sensores.....	20
5.3.2 Método de Calentamiento.....	21
5.3.3 Acondicionamiento de Señal.....	22
5.3.4 Implementación de un Conversor de Corriente a Voltaje.....	25
5.4 Interfaz Gráfica .....	27
5.5 Caracterización y Resultados .....	29
5.4.1 Termopar.....	30
5.4.2 RTD – PT100 .....	32
5.4.3 Termistor.....	35
5.6 Análisis de resultados .....	38
5.7 Cronograma del proyecto .....	38
CONCLUSIONES .....	40
TRABAJOS FUTUROS .....	42
GLOSARIO .....	43
APÉNDICES.....	47
CIRCUITO CONVERTOR DE CORRIENTE A VOLTAJE.....	47
A-1 ... Esquemático Circuito convertor de corriente 4– 20mA a voltaje 0–5VDC.....	47
A-2 .....Impreso para tarjeta convertor de corriente a voltaje.....	48
INTERFAZ GRÁFICA LABVIEW.....	49
B-1 Panel frontal interfaz gráfica LabView.....	49
B-2 Diagrama de bloques interfaz gráfica LabView..	50
B-3 Diagrama de flujo .....	51
CRONOGRAMA .....	52
C Cronograma Proceso Temperatura.....	52
PLANO DE CONEXIÓN.....	55

D Plano de conexión sistema de temperatura - módulo M-ECCI.....	55
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>58</b>
ANEXO 1: FICHA TÉCNICA TERMISTOR.....	58
ANEXO 2: FICHA TÉCNICA PT100.....	59
ANEXO 3: FICHA TÉCNICA TERMOPAR TIPO K.....	60
ANEXO 4: FICHA TÉCNICA TRANSMISOR PRETOP 5333.....	61
ANEXO 5: FICHA TÉCNICA TRANSMISOR PRETOP 5334.....	66
ANEXO 6: GUÍA LABORATORIO TERMISTOR.....	71
ANEXO 7: GUÍA LABORATORIO TERMOPAR.....	80
ANEXO 7: GUÍA DE LABORATORIO RTD.....	91

## Lista de Figuras

Figura 1: Comportamiento termistores NTC .....	9
Figura 2: Símbolos PTC y NTC.....	10
Figura 3: Resistividad vs Temperatura (NTC y PTC).....	12
Figura 4: Símbolo RTD.....	12
Figura 5: Comportamiento PT100 .....	14
Figura 6: Ubicación inicial sensores de temperatura.....	20
Figura 7: Ubicación definitiva sensores de temperatura.....	20
Figura 8: Entrada NPT (F) 1/2" para instalación de sensores.....	21
Figura 9: Moto agitador y resistencia Tanque 3.....	22
Figura 10: PT100 con transmisor PRETOP 5333 .....	23
Figura 11: Diagrama de conexión de PT100 y transmisor PRETOP 5333.....	24
Figura 12: Diagrama de conexión Termopar y transmisor PRETOP 5334.....	24
Figura 13: Termistor con transmisor PRETOP 5333.....	25
Figura 14: Circuito Integrado LM324.....	26
Figura 15: Conversor de Corriente a Voltaje (4–20mA / 0–5V) con 3 canales.....	26
Figura 16: Circuito impreso Conversor Corriente a Voltaje.....	27
Figura 17: Proceso de conversión de señales.....	28
Figura 18: Interfaz gráfica para medición de temperatura – LabView .....	29
Figura 19: Corriente salida del transmisor del termopar vs Temperatura.....	31
Figura 20: Voltaje salida del circuito conversor I to V del termopar vs Temperatura.....	31
Figura 21: Lectura temperatura termopar vs tiempo....	32
Figura 22: Corriente salida del transmisor de la PT100 vs Temperatura.....	33

Figura 23: Voltaje salida del circuito conversor I to V de la PT100 vs Temperatura..... 34

Figura 24: Lectura temperatura RTD PT100 vs tiempo..34

Figura 25: Corriente salida del transmisor del termistor vs Temperatura..... 36

Figura 26: Voltaje salida del circuito conversor I to V del termistor vs Temperatura..... 36

Figura 27: Lectura temperatura Termistor vs tiempo....37

Figura 28: Lectura interfaz PLC vs interfaz LabView .....37

## Lista de Tablas

Tabla 1: Tipos de termopares .....	7
Tabla 2: Características de termistores NTC[2] .....	11
Tabla 3: Propiedades de conductores utilizados en RTD's. .....	13
Tabla 4: Tipos de RTD .....	13
Tabla 5: Sensores utilizados en la industria. ....	17
Tabla 6: Comparación de sensores.....	18
Tabla 7: Valores registrados de voltaje y corriente para el Termopar .....	30
Tabla 8: Valores registrados de voltaje y corriente para la RTD PT100 .....	33
Tabla 9: Valores registrados de voltaje y corriente para el termistor .....	35
Tabla 10: Comparación lecturas PLC y LabView – Error relativo .....	38

# Resumen

Este trabajo presenta el proceso de implementación de tres sensores industriales de temperatura; Termopar Tipo K, Termistor PTC<sup>1</sup> y RTD<sup>2</sup> (PT100), en el tanque 3 del módulo de entrenamiento M-ECCI. El objetivo principal es obtener experimentalmente, datos como tiempos de respuesta y señales de salida propias de los sensores, que permitan caracterizarlos. Luego, acondicionar las señales de salida a voltajes entre 0-5VDC, para entregarlas a un sistema de adquisición de datos y poder visualizar los valores de temperatura en la pantalla touch del PLC Siemens S7-1200 y en un PC a través una interfaz gráfica mediante el software Labview de National Instruments.

Se implementa un circuito electrónico conversor de corriente a tensión, necesario para entregar la señal de salida entre 0-5VDC, puesto que los transmisores propios de los sensores entregan un salida en corriente de 4-20mA.

Se crean condiciones de medida llenando el tanque 3 con agua, y variando su temperatura por medio de una resistencia de inmersión y un agitador, el cual cumple la función de distribuir uniformemente la temperatura dentro del tanque. Para asegurar que las medidas obtenidas sean correctas, se utiliza como patrón de medida, un GLX<sup>3</sup>. Los datos obtenidos quedan registrados en el presente trabajo, demostrando el comportamiento de los sensores dentro de la aplicación en el módulo M-ECCI.

---

<sup>1</sup> *Positive Temperature Coefficient*

<sup>2</sup> *Resistance Temperatura Detector*

<sup>3</sup> *Instrumento patrón de temperatura Xplorer GLX 2002*



# Capítulo 1

## Introducción

En la actualidad, las instituciones de Educación Superior dentro de sus programas de formación, buscan acercarse a las situaciones reales de la industria, diseñando e implementando plantas automatizadas que involucren variables de medida y realizando el control de las mismas. Basado en lo anterior, la Universidad tomó como referencia un proyecto desarrollado en la Universidad de San Buenaventura - Seccional Medellín, sobre módulos de Electro-Neumática y medición de variables de temperatura, nivel y peso del Laboratorio de Electrónica [1]. Con esta base, se plantea un proyecto de grado enfocado a la implementación de un módulo didáctico donde los estudiantes puedan desarrollar prácticas en las áreas de Automatización, Control, Comunicaciones, Instrumentación y Electrónica Digital.

Este módulo cuenta con tres tanques, en donde se realiza la medición de temperatura, presión, caudal y nivel. La temperatura es una de las variables más comunes e importantes a controlar en los procesos industriales. Cada sensor se eligió de acuerdo a parámetros de operación y costos de los mismos [2]. Dentro de los parámetros de operación se encuentran; la precisión, el tiempo de respuesta, el error de medida, siendo estos los más relevantes entre otros. Se seleccionan tres tipos de sensores de temperatura, cada uno con principios de operación y características diferentes. La RTD tiene como principal ventaja su estabilidad y precisión, el termistor posee el tiempo de respuesta más rápido y los termopares son los sensores en el mercado con mayor rango de medida. Así, se opta por instalar en el tercer tanque del proyecto, un sensor de cada uno, a la misma altura, y de esta forma poder comparar la respuesta bajo las mismas condiciones de operación.

Inicialmente, se plantea realizar cambios de temperatura del material de proceso en el tanque utilizando una resistencia efecto “*peltier*”, donde la unión de dos metales expulsa o absorbe calor, dependiendo del sentido de circulación de la corriente. La parte que se enfría suele estar cerca de los 25° C, mientras que la parte que absorbe calor puede alcanzar rápidamente los 80° C.” [3]. Adicional a esto, surge la necesidad de que los cambios de temperatura sean uniformes en todo el material. Para lograrlo, se instala un motoagitador, el cual cumple la función de mantener el líquido en el tanque bajo las mismas condiciones en todos sus puntos.

## Capítulo 2

# Planteamiento del problema

Dentro de las carreras técnicas y profesionales que ofrece la Universidad ECCI, puntualmente las enfocadas a la electrónica, se aborda el amplio campo de la instrumentación industrial, automatización y control. Para ofrecer a los futuros profesionales, herramientas prácticas para aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en las aulas de clases, se requieren recursos técnicos que le permitan al estudiante tener un contacto directo con instrumentos y procesos reales del sector industrial.

## Justificación

Debido a la necesidad de mejorar el nivel académico de los estudiantes de ingeniería de la Universidad ECCI, y enriquecer sus prácticas enfocadas hacia el sector industrial se pretende entonces, implementar una nueva herramienta didáctica y práctica en los laboratorios de Instrumentación, con un módulo que integre cuatro variables (Temperatura, Nivel, Presión, Caudal). La temperatura es la variable en la que se centra el presente trabajo, y para esto, el módulo M-ECCI contará con 3 sensores de temperatura distintos, de forma que el estudiante pueda trabajar con ellos, aplicar la teoría, realizar comparaciones, tomar datos, analizar resultados y sacar sus propias conclusiones.

El proyecto integra además de la parte de instrumentación, módulos de control, automatización y comunicaciones que dan soporte de ingeniería para que los estudiantes que están en etapa de formación, puedan acceder y complementar sus conocimientos con prácticas reales en estas otras áreas estrechamente relacionadas.

## Capítulo 3

# Objetivos

### 3.1 Objetivo general

**Implementar y caracterizar un sistema de medición de temperatura a través de un módulo de aprendizaje didáctico, con la utilización de tres diferentes tipos de sensores.**

### 3.2 Objetivos específicos

- Implementar los sensores y transmisores de señal adecuados para el funcionamiento óptimo del sistema.
- Realizar la instalación de los tres sensores en el módulo M-ECCI.
- Implementar y verificar un sistema de acondicionamiento de señal para la RTD, el termistor y el termopar según sea el caso
- Caracterizar los sensores RTD, Termistor y Termopar, usando la tarjeta de adquisición de datos, y comparar la respuesta de cada uno.
- Realizar una interfaz gráfica en Labview para visualizar el comportamiento de los sensores (Termistor, PT100 y termopar).
- Elaborar las guías de laboratorio de cada sensor para la utilización de estos en los módulos de aprendizaje.

## Capítulo 4

# Marco Teórico

La temperatura con seguridad, es el parámetro que se mide con mayor frecuencia en aplicaciones industriales, aun cuando en realidad no se busque obtener un valor de temperatura, esta debe obtenerse para hallar el valor de otra variable. La medición de temperatura, a pesar de ser una de las variables más sencillas de medir, tiende a complicarse debido a factores que afectan la medida; como la masa térmica, el tiempo, el ruido, etc.

Los sensores para la medición de temperatura, se pueden clasificar en tres grupos, dependiendo de la naturaleza de la medida en Termopares, Semiconductores y Resistivos [4].

### 4.1 Termopar

Un termopar es un sensor de temperatura que consiste en dos conductores metálicos diferentes, unidos en un extremo, denominado junta caliente suministrando una señal de tensión eléctrica que depende directamente de la temperatura; este sensor puede ser conectado a un instrumento de medición de FEM<sup>4</sup>, cómo un mili voltímetro.

Un termopar no mide temperaturas absolutas, sino la diferencia de temperatura entre el extremo caliente y el extremo frío. Este efecto termoeléctrico hace posible la medición de temperatura mediante un termopar [5].

#### 4.1.1 Principio de operación

El termopar se basa en el efecto descubierto por Seebeck, de la circulación de una corriente en un circuito cerrado formado por dos metales diferentes cuyas uniones

---

<sup>4</sup> Fuerza Electro Motriz

(unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura.

Esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier, que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de los metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto Thomson que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en que existe un gradiente de temperaturas [6].

Un termopar se crea siempre que dos metales diferentes se tocan y el punto de contacto produce un pequeño voltaje en circuito abierto como una función de la temperatura. Este voltaje termoeléctrico no es lineal con respecto a la temperatura. Sin embargo, para pequeños cambios en temperatura, el voltaje es aproximadamente lineal, es decir:

$$\Delta V = S \cdot \Delta T \quad [7] \quad (4.1)$$

Donde  $\Delta V$  es el cambio en el voltaje,  $S$  es el coeficiente de Seebeck y  $\Delta T$  es el cambio en la temperatura.

#### 4.1.2 Técnicas de Compensación de unión en frío

Existen dos técnicas para implementar compensación de uniones en frío; *compensación por hardware* y *compensación por software*. Ambas técnicas requieren que la temperatura en la unión de referencia sea medida con un sensor de lectura directa. Un sensor de lectura directa posee una salida que depende únicamente de la temperatura en el punto de medición.

En la ***compensación por hardware***, se inserta una fuente variable de voltaje dentro del circuito para cancelar los voltajes termoeléctricos parásitos. La fuente variable de voltaje genera un voltaje de compensación de acuerdo con la temperatura ambiente, para así poder adicionar el voltaje correcto y cancelar las señales termoeléctricas indeseadas. Cuando se cancelan estas señales parásitas, la única señal que mide el dispositivo de adquisición de datos es el voltaje desde la unión del termopar. Con la compensación por hardware, la temperatura en los terminales del sistema de adquisición de datos es irrelevante ya que los voltajes

parásitos del termopar se han cancelado. La mayor desventaja de la compensación por hardware es que cada tipo de termopar debe poseer un tipo separado de circuito que pueda adicionar el voltaje correcto de compensación; este hecho hace que el circuito sea bastante costoso. La compensación por hardware es generalmente menos exacta que la compensación por software.

Como alternativa, se puede usar **compensación por software** para la unión-enfrío. Después que un sensor de lectura directa mida la temperatura en la unión de referencia, el software puede adicionar el valor apropiado al voltaje medido con el fin de eliminar los efectos termoeléctricos parásitos.

Los voltajes de salida de un termopar son altamente no lineales. El coeficiente de Seebeck puede variar por un factor de tres o más en el rango de temperatura de operación de algunos termopares. Por esta razón, se debe realizar aproximación polinómica para la curva voltaje-contra-temperatura del termopar o usar una tabla de búsqueda [7].

#### 4.1.3 Tipos de termopares

Existen siete tipos estándar de termopares que tienen designaciones con letras elaboradas por la ISA<sup>5</sup> y el NBS<sup>6</sup>. Se dividen de acuerdo al material que han sido fabricadas. A continuación se listan los más comúnmente utilizados:

Tipo T: Cobre – Constantan

Tipo J: Hierro – Constantan

Tipo K: Chromel – Alumel

Tipo R: Platino Rodio – Platino

Tipo S: Platino Rodio – Platino<sup>7</sup>

Tipo B: Iridio – Iridio Rodio

Tipo E: Tungsteno – Tungsteno Renio

---

<sup>5</sup> Instrument Society of America.

<sup>6</sup> National Bureau of Standards.

<sup>7</sup> Menor concentración de Platino en el material positivo que las Tipo R.

En la **Tabla 1**, se muestra los diferentes tipos de termopares y algunas de sus principales características. Para el presente trabajo, se realizó la implementación de un termopar tipo K. La selección de este sensor se fundamenta en el rango que maneja (0-370°C según su diámetro) y el costo.

**Tabla 1:** Tipos de termopares

Tipo	Material Positivo	Material Negativo	Precisión Clase 2	Rango °C	Observaciones
T	Cu	Cu,45%Ni	0.75% o 1.0 °C	-270 a 400	Bueno para propósitos generales, baja temperatura y tolera la humedad
J	Fe	Cu, 45% Ni	0.75% o 2.2°C	-210 a 1200	Temperaturas elevadas, ambientes reducidos
K	Ni,10% Cr	Ni,2% Al, 2% Mn,1% Si	0.75% o 2.2°C	-270 a 1372	Propósito general, temperaturas elevadas, ambiente de oxidación
R	Pt, 13%Rh	Pt	0.25% o 1.5°C	-50 a 1768	Precisión, elevadas temperaturas
S	Pt, 10%Rh	Pt	0.25% o 1.5°C	-50 a 1768	Precisión, elevadas temperaturas
B	Pt, 30%Rh	Pt, 6%Rh	0.5% >800°C	50 a 1820	Bueno para altas temperaturas, no requiere compensación de unión de referencia
E	Ni, 10% Cr	Cu, 45% Ni	0.5% o 1.7°C	-270 a 1000	Propósito general, temperaturas medias y bajas

## 4.2 Termistor

El término termistor proviene del inglés *thermistor*, formado a partir de los vocablos *thermally sensitive resistor*. Son resistores variables con la temperatura, pero no están basados en conductores como las RTD, sino en semiconductores. Si su coeficiente de temperatura es negativo se denomina NTC<sup>8</sup>, mientras que si es positivo se denominan PTC<sup>9</sup> [3].

<sup>8</sup> Negative Temperature Coefficient

<sup>9</sup> Positive Temperature Coefficient

Este tipo de sensores tiene muy poca linealidad y alta sensibilidad, son muy usados en aplicaciones de investigación por las características de fiabilidad, sensibilidad y facilidad de uso. Los rangos de operación de la mayoría de los termistores se encuentra en un rango de  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $+1000^{\circ}\text{C}$  [8].

#### 4.2.1 Principio de operación

El fundamento de los termistores está en la dependencia de la resistencia de los semiconductores con la temperatura, debida a la variación con esta del número de portadores. Al aumentar la temperatura lo hace también el número de portadores reduciéndose la resistencia y de ahí que presenten coeficiente de temperatura negativo. Esta dependencia varía con la presencia de impurezas, y si el dopado es muy intenso, el semiconductor adquiere propiedades metálicas con coeficiente de temperatura positivo PTC en un margen de temperaturas limitado.

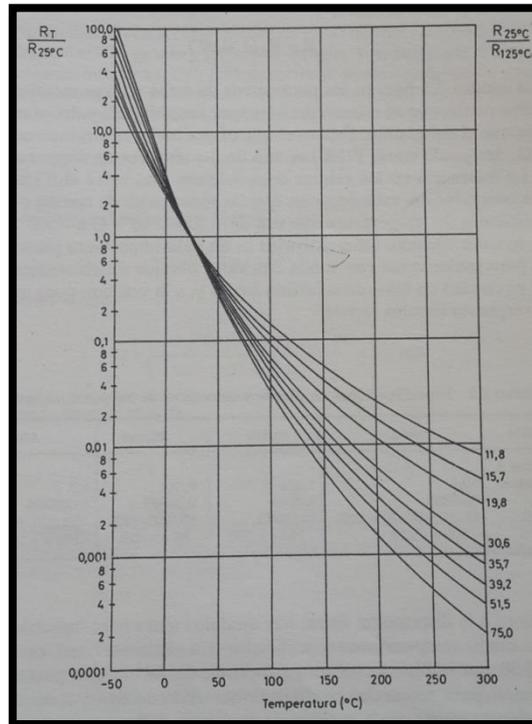
Para las NTC, en un margen de temperaturas reducido ( $50^{\circ}\text{C}$ ), la dependencia se puede considerar el tipo exponencial de la forma:

$$R_T = R_0 \exp\left\{\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right\} \quad (4.2)$$

Donde  $R_0$  es la resistencia a  $25^{\circ}\text{C}$  u otra temperatura de referencia, y  $T_0$  es dicha temperatura expresada en kelvin. En el caso anterior  $T_0 = 273 + 25 = 298\text{ K}$ . La **Figura 1** muestra la dependencia real entre  $R_T$  y  $T$  para algunos modelos.

El parámetro  $\beta$  es la denominada temperatura característica del material, y tiene valores de  $2000\text{K}$  a  $5000\text{K}$ , pero varía con la temperatura, aumentando al aumentar ésta [3].

El funcionamiento de un termistor se basa en la variación de la resistencia de un semiconductor con la temperatura, debido a la variación de la concentración de portadores. El cambio de temperatura puede provenir del exterior o puede resultar del paso de la corriente por el mismo (autocalentable), esta propiedad es la que da lugar a la alinealidad que lo caracteriza. Depende del tipo de termistor para los termistores NTC, al aumentar la temperatura, aumentará también la concentración de portadores, por lo que la resistencia será menor, de ahí que el coeficiente sea negativo.



**Figura 1:** Comportamiento termistores NTC

Para los termistores PTC, en el caso de un semiconductor con un dopado muy intenso, éste adquirirá propiedades metálicas, tomando un coeficiente positivo en un margen de temperatura limitado [9].

Se valida el funcionamiento del sensor para ser linealizado tomando como referencia la variación de temperatura y la resistividad se parte de la ecuación:

$$\Delta R = k\Delta T \quad (4.3)$$

Dónde:

$\Delta R$  Cambio en la resistencia del material.

$\Delta T$  Cambio de temperatura.

K Coeficiente de temperatura de primer orden.

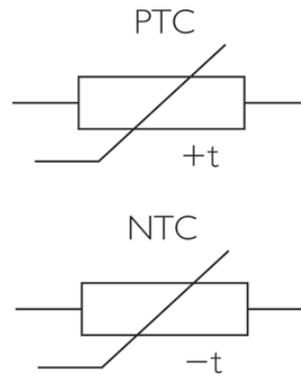
### 4.2.2 Tipos de termistores

Según el coeficiente, se clasifican en dos tipos:

NTC: Termistores de Coeficiente Negativo

PTC: Termistores de Coeficiente Positivo

Los NTC son los más comunes y a medida que aumenta su temperatura disminuye su resistividad, mientras que los PTC aumentan su resistividad con el aumento de la temperatura [10]. La **Figura 2** muestra los símbolos propios de ambas clases de termistores.



**Figura 2:** Símbolos PTC y NTC

#### 4.2.2.1 Termistores NTC

Este tipo de termistores tienen un coeficiente de temperatura negativo por lo que disminuyen fuertemente su resistividad a medida que aumenta la temperatura. Este fenómeno se debe a que los materiales con que se construyen los NTC son tipo N, por lo tanto sus portadores mayoritarios son electrones. Al aumentar la temperatura, mayor cantidad de electrones se desprenden de sus enlaces covalentes aumentando la conductividad del material y por ende bajando su resistividad.

En la **Tabla 2**, se resumen algunas características generales de los modelos de NTC más frecuentes.

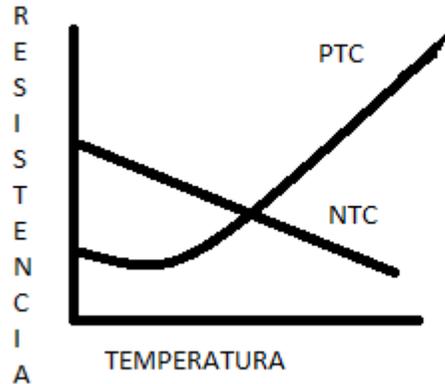
**Tabla 2:** Características de termistores NTC[2]

Parámetro	Característica
Margen de la temperatura Resistencia a 25 °C	-100 °C a 450 °C (no en un mismo modelo) 0,5 $\Omega$ a 100M $\Omega$ ( $\pm$ 5% o $\pm$ 10%) 1 K $\Omega$ A 10M $\Omega$ es lo habitual
B	2000 K a 5500 K
Temperatura máxima	125 °C 300°C habitual en régimen permanente 600 °C habitual en régimen intermitente
Coefficiente de disipación, $\delta$	
Constante de tiempo térmica	1mW/k en aire en reposo
Potencia disipable	8 mW/k en aceite 1 ms a 22 s 1 mW a 1 W

#### 4.2.2.2 Termistores PTC

Este tipo de termistores son dopados intensamente adquiriendo propiedades metálicas, tomando un coeficiente de temperatura positivo, por lo tanto al aumentar su temperatura también aumentará su resistencia. No todos los PTC se comportan de esta manera en todo el rango de temperaturas, de hecho la mayoría de estos dispositivos presentan zonas de comportamiento similar a los NTC, es decir con coeficiente de temperatura negativo para temperaturas inferiores a los 50°C aproximadamente. Esta temperatura se denomina punto de Curie y varía según los distintos fabricantes, es un dato técnico que el fabricante proporciona en su hoja de datos.

Básicamente existen dos tipos de termistores PTC, los de tipo switch y los de tipo silistores [11]. Cualquiera de los dos posee características no lineales entre temperatura y resistividad. La **Figura 3** muestra las curvas características de los NTC y de los PTC, evidenciando la diferencia en su respuesta.

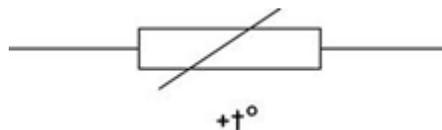


**Figura 3:** Resistividad vs Temperatura (NTC y PTC)

### 4.3 Resistance Temperature Detector (RTD)

Los detectores de temperatura basados en la variación de una resistencia eléctrica se suelen designar con sus siglas RTD (Resistance Temperature Detector). Dado que el material empleado con mayor frecuencia para esta finalidad es el platino, se habla a veces de PTR (Platinum Resistance Thermometer).

El símbolo general para estos dispositivos es como se muestra en la **Figura 4**. La línea recta en diagonal sobre el resistor indica que varía de forma intrínseca lineal, y la anotación junto a dicha línea denota que la variación es debida a la temperatura y tiene coeficiente positivo [2].



**Figura 4:** Símbolo RTD

La RTD más utilizada en la industria es la PT100, y se basa en el cambio de la resistencia eléctrica en metales casi puros como el platino, níquel puro y cobre, a medida que se presentan cambios de temperatura.

En estos sensores el incremento de temperatura no se realiza de forma lineal pero si de forma ascendente y característico de acuerdo al metal empleado y sus

características propias. La **Tabla 3** muestra algunas de estas propiedades para los metales más usados en las RTD.

**Tabla 3:** Propiedades de conductores utilizados en RTD's.

Parámetro	Platino (Pt)	Cobre (Cu)	Níquel (Ni)	Molibdeno (Mo)
Resistividad ( $\mu\Omega\text{cm}$ )	10.6	1.673	6.844	5.7
$\alpha(\Omega/\Omega/K)$	0.00385	0.0043	0.00681	0.003786
$R_0(\Omega)$	50, 100, 200	10	50, 100, 120	100, 200, 500
Margen ( $^{\circ}\text{C}$ )	-200 a +850	-200 a +260	-80 a +230	-200 a +200

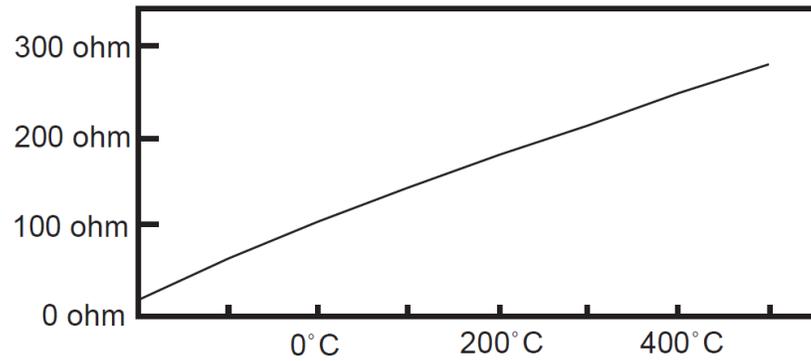
### 4.3.1 Tipos de RTD

Dependiendo del metal utilizado se encuentran diferentes tipos de RTD. La **Tabla 4**, muestra 5 clases de RTD con sus características principales.

**Tabla 4:** Tipos de RTD

Metal	Rango de Temperatura	Alfa	Observaciones
Cobre (Cu)	-200°C a 260°C	0.00427	Bajo costo
Molibdeno(Mo)	-200°C a 200°C	0.00300 - 0.00385	Bajo costo, alternativa del platino para rangos bajos de temperatura
Níquel (Ni)	-80°C a 260°C	0.00672	Bajo costo, rango limitado de temperatura
Níquel- Hierro (Ni-Fe)	-200°C a 200°C	0.00518	Bajo costo
Platino (Pt)	-240°C a 660°C	0.00385 – 0.00392 – 0.00377	Buena presión, rango amplio de temperatura disponible hasta 1000°C

Los RTD de platino son de los más utilizados en la industria, por su excelente precisión y amplio rango. Se selecciona la PT100, por su buena estabilidad, buena sensibilidad, linealidad entre la temperatura y resistencia, así como se observa en la **Figura 5**.



**Figura 5:** Comportamiento PT100

Por otro lado, tienen como desventaja la lenta respuesta, alto costo de adquisición y que su vida útil es menor en comparación a la de un termopar o termistor, puesto que son muy sensibles a vibraciones y posibles golpes.

## Capítulo 5

# Diseño Metodológico

Para el desarrollo del presente trabajo y cumplimiento de los objetivos planteados, se segmenta la totalidad del proyecto en una serie de etapas. Se inicia con la limitación del proyecto, luego la selección de los sensores a utilizar, adquisición de los instrumentos, revisión de la documentación técnica, instalación, pruebas, toma y análisis de datos.

Todo esto conlleva a un desarrollo experimental, donde la mayor parte del proceso efectuado se realiza mediante la interacción directa con los sensores a implementar en el módulo M-ECCI.

### 5.1 Estado del Arte

En un proceso de control, la temperatura debe tener condiciones adecuadas y seguras para la aplicación que se esté llevando a cabo. Esta variable puede incidir directamente en el proceso que se esté realizando, como por ejemplo la composición de la mezcla en un proceso de destilación; por esta razón es de vital importancia tener un control adecuado, porque un aumento o disminución de la misma puede alterar la composición de los productos.

En el módulo didáctico, el trabajo esencial se centra en el manejo de las variables físicas que se involucran en el campo de instrumentación Industrial, cabe resaltar que se tomó como referencia un trabajo de un proyecto de grado en donde aparte de realizar la medición y control de temperatura, involucran otras variables como presión y nivel [1]. Allí se utiliza un termopar tipo K, una resistencia de inmersión controlada por un relé de estado sólido. El control de procesos secuenciales es realizado mediante un PLC.

En [12] y [13] se plantean procesos similares para la implementación de los sensores, dividiendo el proceso en fases de: selección de los elementos (sensores, transmisores, conversores), implementación y pruebas. De igual forma hacen uso de un PLC para tratamiento de las señales y activación de actuadores, así como en [14].

En [15] se realiza un sistema de instrumentación para la optimización de sistemas de energía solar. Por medio de un PIC 18F2520 de *Microchip* y un transmisor MAX3080E, el cual realiza la adquisición de datos y envío de estos al PC por comunicación serial RS-485. En el presente trabajo, se utiliza un sensor de temperatura tipo RTD PT100 DS18B20 con salida digital y la visualización de los valores de la variable, se entrega en una interfaz gráfica realizada en *LabView*.

En [16], se realiza un sistema para controlar y monitorear varias variables, entre ellas la temperatura, para el tratamiento de un efluente. El sensor seleccionado fue un termopar tipo K, y realizan la linealización mediante un circuito integrado AD594 de *Analog Devices*. Este integrado incluye un circuito de compensación de unión fría, y así corregir el error inducido al no trabajar con una referencia de 0°C [6]. La amplificación de la señal de salida del termopar, es realizada por el mismo integrado, mediante un amplificador de instrumentación, logrando un voltaje cercano a los 850mV para una temperatura de 100°C, y un comportamiento completamente lineal entre temperatura y voltaje. Por otro lado, la caracterización del sensor, se efectuó enfriando agua a 0°C con hielo, y desde allí iniciar el proceso de calentamiento lentamente. Las lecturas fueron realizadas con un termómetro de mercurio. Este proceso no se tuvo en cuenta dentro del presente trabajo, puesto que las mediciones con termómetro de mercurio no son precisas, induciendo un *error absoluto*<sup>10</sup>.

En [17], se realiza un sistema de control para automatizar el proceso de tinturado de hilos en una planta textil. El sensor de temperatura que se utiliza es una RTD PT100 *Rosemount 248HA11A2NSQ4*, con un rango de 0-150°C. Para la caracterización del sensor, realizan un proceso similar al utilizado en el presente trabajo, calentando un recipiente que contiene tintura, que en el instante cero tiene una temperatura de 20.5°C, y tomando cada minuto el valor de la temperatura, logra llegar a 84.5°C en 90 minutos. El calentamiento se realiza con vapor de agua, y la cantidad de vapor es regulada mediante una válvula de paso que es controlada por el PLC. Para el presente proyecto, se realiza el control de actuadores (válvulas, bombas) con un PLC *SIMATIC S7-1200* y una interfaz gráfica en la pantalla *touch* integrada al PLC.

## 5.2 Análisis de información de los sensores

Como base para iniciar el proyecto, se plantean algunas características mínimas, las cuales deben cumplirse dentro de la implementación del sistema de temperatura:

---

<sup>10</sup> **Error absoluto** = Valor leído – Valor verdadero. [6]

- Manejo de diferentes tipos de sensores.
- Temperatura máxima de trabajo en el sistema (100°C).
- Manejo de una sistema de adquisición de datos.
- Desarrollo de una Interfaz gráfica.

En esta fase se recopila información sobre:

- Aplicaciones de los sensores.
- Características físicas y electrónicas de los sensores.
- Requisitos de acondicionamiento de señal.

Como se afirma en [18], la primera consideración para la adecuada selección de un sensor, es tener en cuenta las especificaciones básicas del sensor, tales como: precisión, rango, velocidad de respuesta, tipo de material de proceso. Además es muy común y válido, tener en cuenta las experiencias de otros proyectos similares, de forma que se tenga la certeza que el sensor que se esté implementado funcionará adecuadamente dentro de la aplicación que se esté realizando.

En la **Tabla 5** se muestran los sensores comúnmente utilizados en la industria según el campo de aplicación.

*Tabla 5: Sensores utilizados en la industria.*

<b>CAMPO DE LA INDUSTRIA</b>	<b>SENSOR EMPLEADO</b>
Automotor	Termistor - PT100
Metalurgia	Termopar tipo K
Ambiental	Termistor - PT100-Termopar
Procesos químicos	PT100-Termopar
Ventilación y aire acondicionado	Termistor - PT100
Manufactura	Termistor - PT100
Agrícola	Termistor -Termopar tipo T

Si se trata de aplicaciones especiales es conveniente seleccionar el sensor en base a parámetros como:

- Precisión y resolución requerida.
- Rango de temperatura requerido.
- Facilidad de instalación y/o remplazo de sensor.
- Velocidad de respuesta.

- Entorno de instalación (condiciones ambientales).
- Costos.
- Facilidad de linealización.

La **Tabla 6** realiza una comparación de los sensores comúnmente utilizados en la industria.

**Tabla 6:** Comparación de sensores

Tipo de sensor	Rango de °C	Precisión	Salida	Costo
Termopar	-270 a 2300	± 1,5	40µv/°C	económico
Termistor	-50 a 200	± 0,2	5% /°C	medio
RTD níquel	-200 a 600	± 0,3	0.4% /°C	económico
RTD platino	-200 a 600	± 0,2	0.4% /°C	medio

Después del proceso de recopilación de información, investigación, análisis y asesoría por parte de expertos en el tema, se realiza la selección de los siguientes elementos:

**Termistor:** Los termistores tienen una sensibilidad muy alta, lo cual los hace extremadamente susceptibles a los cambios de temperatura. Los termistores también tienen una baja masa térmica que da como resultado tiempos rápidos de respuesta, pero son limitados por un rango pequeño de temperatura. El **Anexo 1** muestra las especificaciones de este sensor.

**RTD PT100:** Como se mostró en la sección 5.1, la PT100 es uno de los sensores más utilizados en la industria. Son populares por su excelente estabilidad y muestran una señal más lineal con respecto a la temperatura que cualquier sensor electrónico de temperatura. En el **Anexo 2** se puede consultar la ficha técnica entregada por el fabricante.

**Termopar tipo K:** Los termopares son unos de los sensores más comunes empleados en la medición de temperatura, ya que son relativamente económicos brindando exactitud y además pueden operar sobre un amplio rango de temperaturas. Ver **Anexo 3** para revisión de las especificaciones.

**Transmisores para acondicionamiento de señal:** Transforma la señal de salida propia de cada sensor de temperatura, en una salida de corriente proporcional de 4-20mA. Para la implementación en el presente trabajo, se utilizan dos referencias de transmisores, ambos del fabricante *PR Electronics*:

- ✓ **Transmisor de 2 hilos programable PRETOP 5333 (Anexo 4):** Este transmisor realiza la conversión de señal de salida para el termistor y RTD.
- ✓ **Transmisor de 2 hilos programable PRETOP 5334 (Anexo 5):** De igual forma que la Ref. 5333, realiza la conversión de la señal de voltaje de salida del termopar en un señal de corriente.

**Tarjeta de adquisición de datos NI 6008:** La tarjeta de adquisición de datos USB 6008 de *National Instruments*, es un dispositivo de bajo costo compatible con el Software *LabView*. Cuenta con 8 entradas y 2 salidas analógicas y 12 entradas/salidas digitales, todas como señales de voltaje entre +/-10VDC con una resolución de 12 bits. Estas especificaciones resultan suficientes para la implementación que se realiza en el presente trabajo.

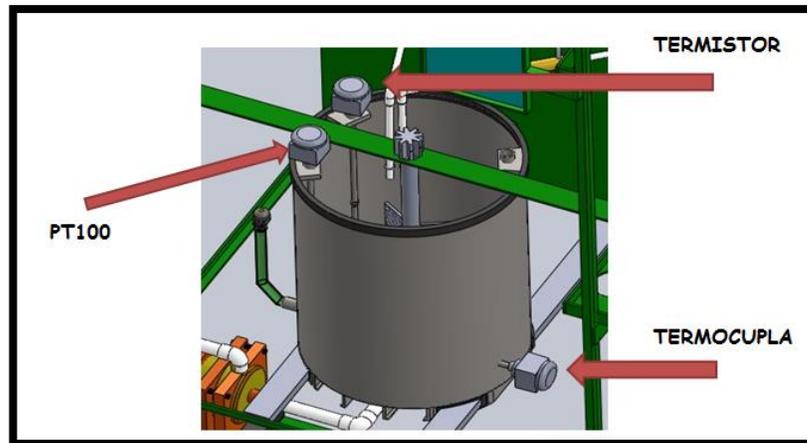
### 5.3 Implementación de sensores

Para el desarrollo del módulo se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- Ubicación de los sensores en el tanque.
- Método de calentamiento de material de proceso.
- Acondicionamiento de señal.
- Interfaz gráfica.

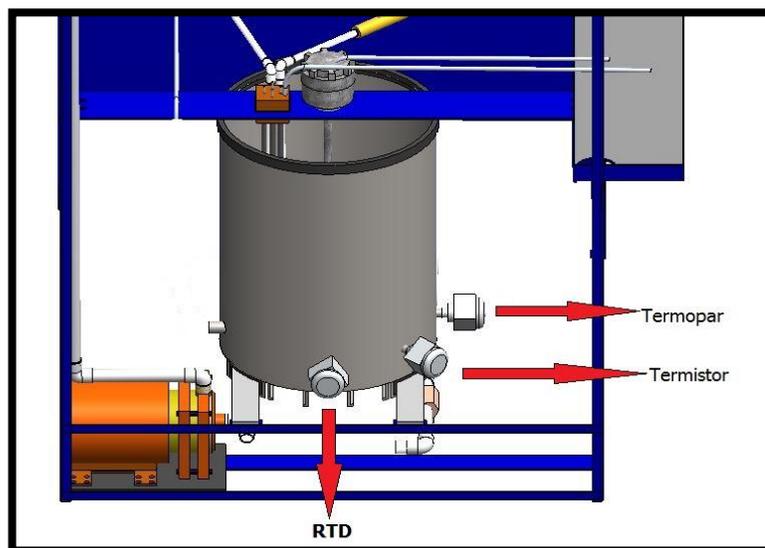
### 5.3.1 Ubicación Sensores

Inicialmente se plantea ubicar los sensores en la parte superior del tanque como se muestra en la **Figura 6**, sin embargo se requiere que el termo pozo de cada sensor tenga una mayor longitud, generando un costo adicional para adquirir los sensores.



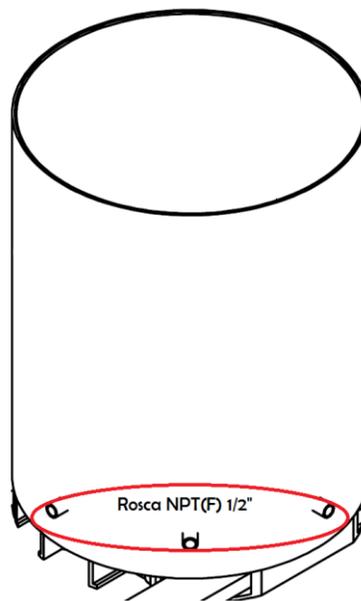
**Figura 6:** Ubicación inicial sensores de temperatura

Por este motivo se decide ubicar los sensores en la parte inferior del tanque como se observa en la **Figura 7**, garantizando así que los tres sensores estén a la misma altura para hacer la comparación entre ellos.



**Figura 7:** Ubicación definitiva sensores de temperatura

Para la instalación de los sensores en el tanque 3, se requiere de una conexión NPT<sup>11</sup> (F) de 1/2". Esta conexión se instala tal y como se muestra en la **Figura 8**.



**Figura 8:** Entrada NPT (F) 1/2" para instalación de sensores.

### 5.3.2 Método de Calentamiento

En la etapa de diseño se propuso utilizar un sistema de efecto *peltier*, que según [19], es un efecto termoeléctrico donde se presenta calentamiento o enfriamiento de la unión de dos metales según el sentido de la corriente que los atraviesa. Este elemento permitiría aumentar y disminuir la temperatura con tan solo invertir el sentido de la alimentación. Sin embargo, su elevado costo y tiempo de entrega, no permitieron su implementación. Se decide utilizar en su reemplazo, una resistencia de inmersión, conectada a 110VAC.

Durante las pruebas iniciales se observó que la resistencia conectada a 110VAC, toma mayor tiempo en alcanzar una temperatura de 70 °C; por lo que se alimenta con 220VAC para minimizar dicho tiempo. Adicional se debe tener en cuenta que la resistencia tiene que estar cubierta al 95% con el líquido para evitar que se averíe, siendo esta una gran limitación del sistema.

<sup>11</sup> National Pipe Thread: Rosca americana cónica para tubos

Es necesario mantener homogénea la temperatura del líquido contenido en el tanque. Para cumplir con lo anterior se realiza la instalación de un moto agitador ubicado en la parte superior del tanque. En la **Figura 9** se observa el montaje de la resistencia y moto agitador.



**Figura 9:** Moto agitador y resistencia Tanque 3.

El cableado de alimentación de la resistencia y moto agitador, va hacia el tablero del módulo, en coraza americana de  $\frac{1}{2}$ ".

### 5.3.3 Acondicionamiento de Señal

Ya se ha mencionado que la señal de salida de los sensores, no corresponde a una señal lineal y las magnitudes entregadas son muy pequeñas, del orden de mV, esto dificulta la adquisición y visualización de la variable medida, debido a que esta señal se ve muy afectada por el ruido. Para realizar la caracterización de la señal, se instalan los transmisores marca *Petrop* mencionados en la sección 5.2, los cuales linealizan y amplifican la señal, entregando una señal de corriente entre 4-20mA, proporcional al rango de temperatura del sensor.

En [12], [13], y [14] se observa como toman esta señal de 4-20mA y la enviaban directamente al PLC, puesto que estos autómatas cuentan con módulos de entrada de señales de corriente y voltaje. En [16] utilizaron el circuito integrado

AD594 para acondicionar la señal del termopar tipo K. Este integrado está en capacidad de amplificar la señal de salida a valores aceptables para la tarjeta de adquisición utilizada NI6008. Sin embargo, esto es una solución única para el termopar, y en el presente proyecto se busca una solución común para los tres sensores implementados, además de contemplar herramientas que acerquen al estudiante al ámbito laboral. En la etapa de diseño del módulo M-ECCI, se contempla trabajar con señales de voltaje, puesto que las señales no serían utilizadas únicamente en el PLC, sino que adicionalmente estas mismas serían entregadas a la tarjeta de adquisición de datos NI6008 para la caracterización y visualización en *Labview*. Estas consideraciones justifican el uso de los transmisores marca *PRETOP*.

Se realiza el acoplamiento de los transmisores programables a cada sensor de la siguiente manera:

**RTD:** La PT100 está conectada a un transmisor de 2 hilos programable *PRETOP* 5333. Las **Figura 10** y **Figura 11** muestran la RTD con el transmisor y el diagrama de conexión respectivamente.



**Figura 10:** PT100 con transmisor *PRETOP* 5333

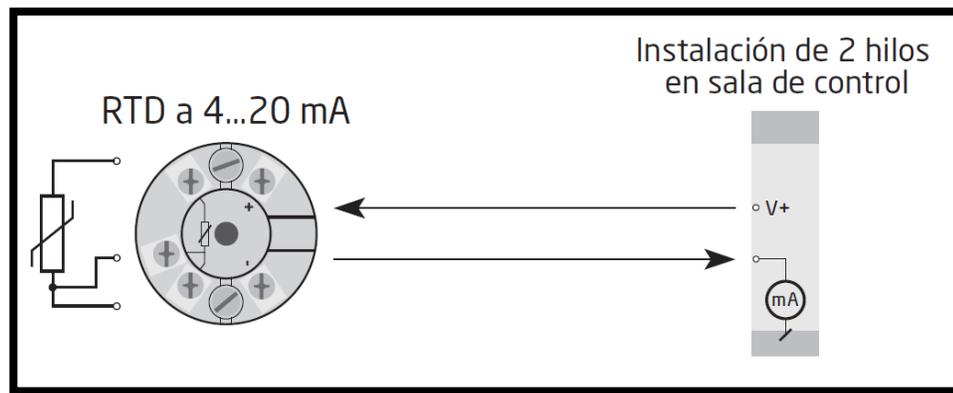


Figura 11: Diagrama de conexión de PT100 y transmisor PRETOP 5333

**Termopar tipo K:** El termopar está conectado a un transmisor de 2 Hilos programable PRETOP 5334. El diagrama de conexión se detalla en la Figura 12.

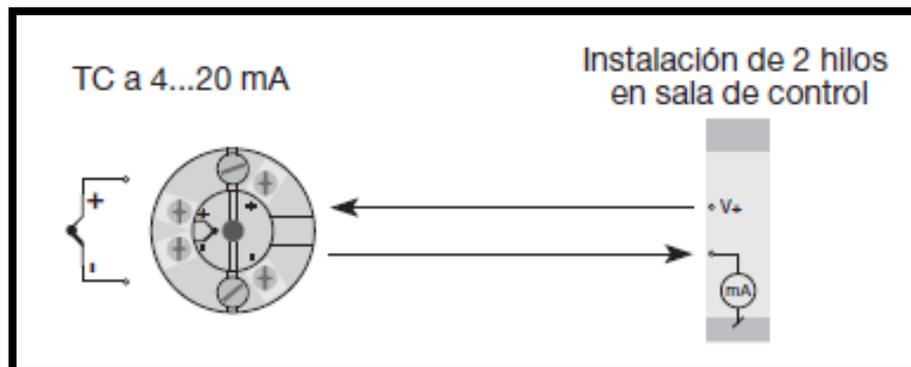


Figura 12: Diagrama de conexión Termopar y transmisor PRETOP 5334

**Termistor:** El termistor está conectado a un transmisor de 2 hilos programable *PRETOP 5333*. El conjunto termistor-transmisor se observa en la **Figura 13**. El diagrama de conexión es idéntico al de la RTD PT100 de la **Figura 11**.



**Figura 13:** Termistor con transmisor *PRETOP 5333*

#### 5.3.4 Implementación de un Conversor de Corriente a Voltaje

Teniendo en cuenta que el transmisor conectado a cada sensor, está condicionado en su salida con una señal de corriente de 4-20mA, fue necesario implementar un circuito conversor de corriente a voltaje, para acoplar la señal a la tarjeta de Adquisición de datos de NI (*National Instruments*).

Inicialmente se realizó una prueba con un amplificador operacional LM741. Con este amplificador sólo es posible acondicionar una señal de corriente. Después de realizar pruebas, se decide utilizar el circuito integrado LM324 (**Figura 14**), el cual tiene características tales como alimentación simple de 0 a 24V, cuenta con cuatro amplificadores operacionales en un solo encapsulado y su costo es menor, permitiendo el manejo de las tres señales de cada transmisor con un solo integrado.

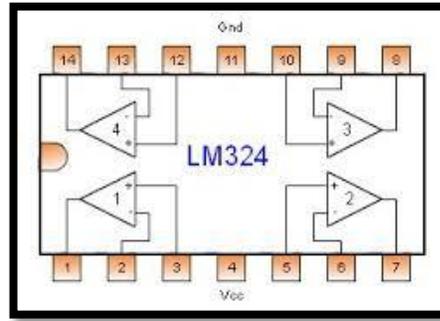


Figura 14: Circuito Integrado LM324

El circuito implementado y circuito impreso se observan en las **Figura 15** y **Figura 16**. La muestra el proceso de conversión de señales desde la salida de los sensores (señal en mV) hasta obtener la señal de salida entre 0-5 V.

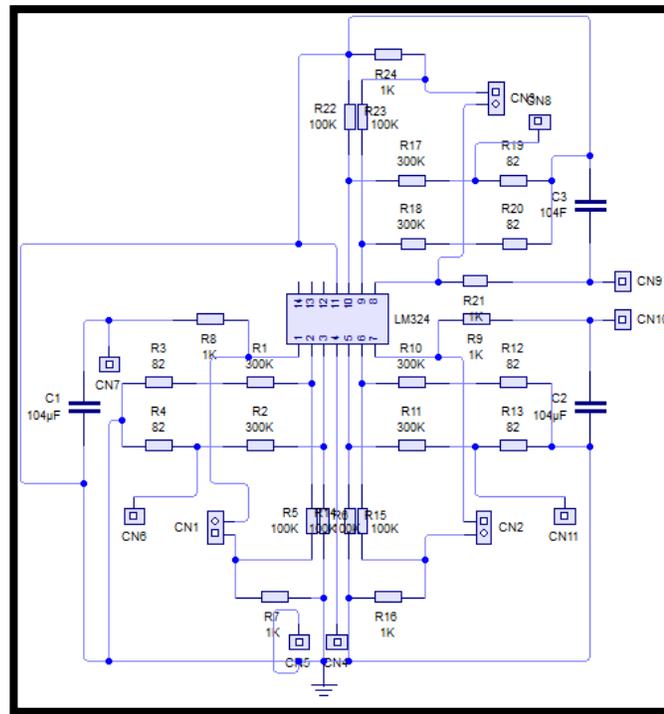
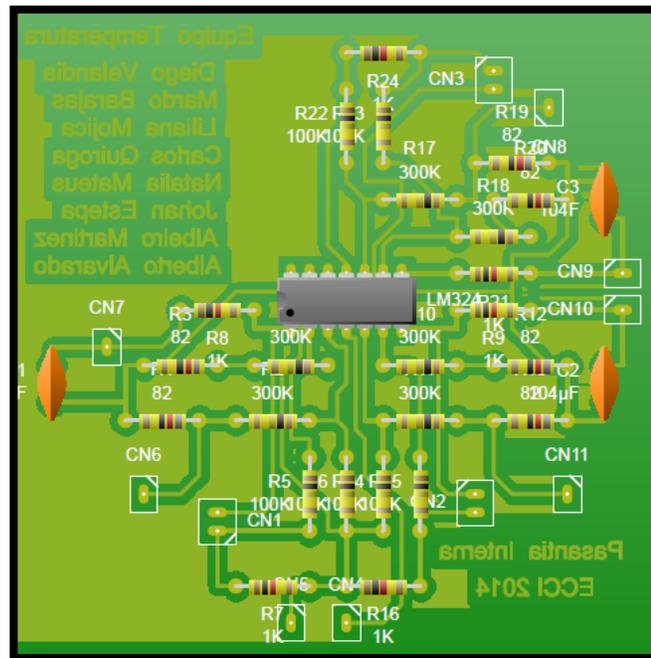


Figura 15: Conversor de Corriente a Voltaje (4-20mA / 0-5V) con 3 canales



**Figura 16:** Circuito impreso Conversor Corriente a Voltaje

Con el convertor de corriente a voltaje instalado, se tienen listas las señales de voltaje entre 0-5VDC de los tres sensores, para ser conectadas a la tarjeta de adquisición de datos. Estas señales son procesadas por el programa realizado en *LabView*, visualizando los valores de temperatura de cada uno de los sensores en la interfaz gráfica.

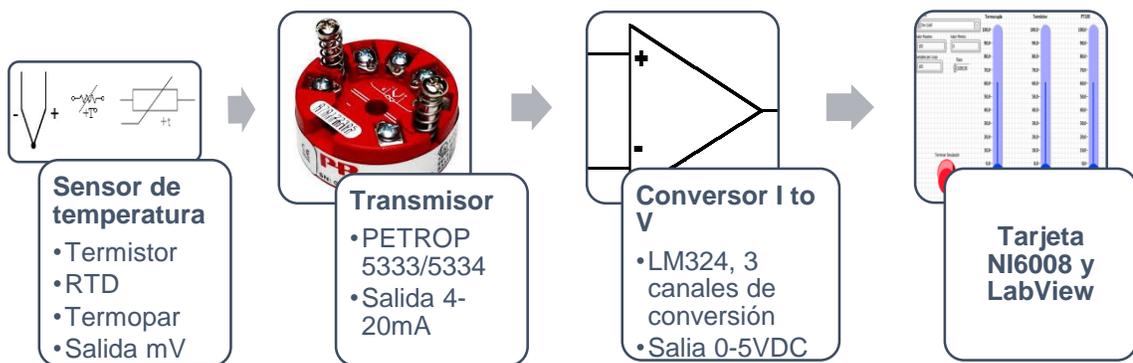
#### 5.4 Interfaz Gráfica

La instrumentación industrial va de la mano con sistemas que permiten visualizar las variables monitoreadas, generar alertas, guardar históricos, analizar datos e incluso generar pronósticos. En [1], [15] y [20] se incluyen interfaces gráficas desarrolladas en *LabView*, donde se visualizan los valores de las variables e incluso se controlan actuadores.

El presente trabajo incluye una sencilla interfaz, que permite visualizar en una sola pantalla los valores de temperatura en grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ) para cada uno de los tres sensores.

En la **Figura 17** se muestra el proceso de conversión de señales desde el sensor hasta que se entrega al PC para su visualización en la interfaz gráfica. Inicialmente, se tiene una salida del sensor (termopar, RTD o termistor) en mV. Siendo esta una señal muy susceptible a ruido y demás factores que alteren la

calidad de la misma, se lleva al transmisor. El transmisor toma esta señal y la transforma en una señal de corriente entre 4-20mA que ya se encuentra linealizada y es proporcional a la temperatura, dentro del rango característico de cada sensor. Luego, el convertor de corriente a voltaje, toma la señal de corriente y la convierte a un voltaje entre 0-5VDC, igualmente proporcional a la temperatura. Para recibir las señales de voltaje, se utilizan 3 entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos NI USB 6008. La conexión entre la tarjeta y el PC se realiza mediante un cable USB, y aquí no es necesario ningún elemento o programa adicional, puesto que al ser del mismo fabricante, *LabView* detecta la tarjeta y comienza a recibir las señales.



**Figura 17:** Proceso de conversión de señales

La interfaz gráfica diseñada, se muestra en la **Figura 18**. Allí se observan controles para la configuración del proceso de adquisición. Tres indicadores numéricos muestran el valor de temperatura detectado por cada uno de los sensores implementados.

Adicional a la visualización en el PC, se tiene una interfaz gráfica en el panel touch del PLC *SIMATIC S7-1200*. El diseño de esta interfaz es tarea del grupo de comunicaciones de este proyecto, por eso no se muestra en el presente trabajo. Sin embargo, se comprobó que las mediciones que se visualizan en la interfaz de LabView y la del PLC, coinciden. Esto se evidencia en la **Figura 28**.

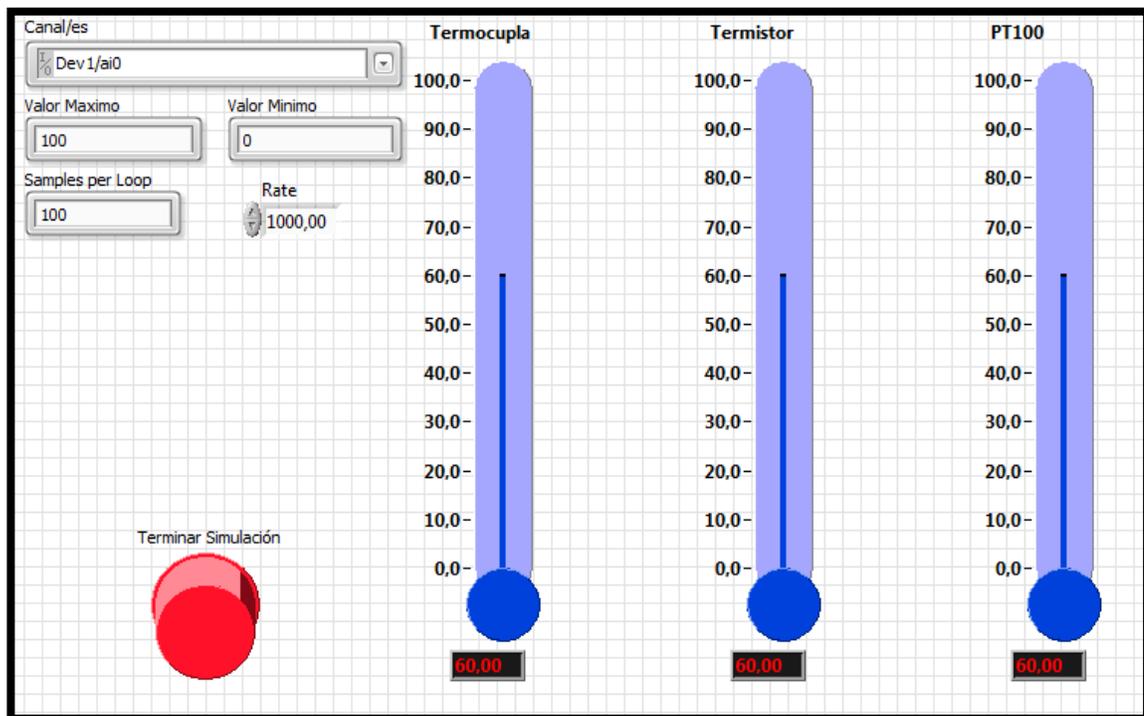


Figura 18: Interfaz gráfica para medición de temperatura – LabView

## 5.5 Caracterización y Resultados

Se crean condiciones de medida, llenando el tanque 3 con agua y calentándola con la resistencia de inmersión. El instrumento patrón *Xplorer GLX 2002*, permite conocer la temperatura real del material de proceso, y usar esta medida como referencia. Se toman los valores de corriente y voltaje a la salida de los transmisores y del circuito conversor para cada uno de los sensores, para posteriormente graficarlos y analizar los resultados.

La medición inicia desde los 17.2°C, que fue la temperatura mínima del material de proceso en el lugar donde se realizaron las pruebas, y la temperatura final es de 70°C debido a que el instrumento patrón *GLX* tiene esa limitación.

El rango de operación del conjunto sensor-transmisor es de 0-150°C, entregando una salida proporcional entre 4-20mA. El conversor de corriente a voltaje entrega una salida de voltaje entre 0-5VDC igualmente proporcional entre el rango de temperatura de 0-150°C.

Luego se activa la resistencia y se registra el tiempo transcurrido, tomando valores de corriente en el transmisor y de voltaje en el conversor, los cuales se almacenan para luego analizarlos. Este procedimiento se realiza para los tres sensores.

A continuación se muestran las mediciones realizadas para cada uno de los sensores, y los valores medidos para diferentes instantes de tiempo y rangos de temperatura.

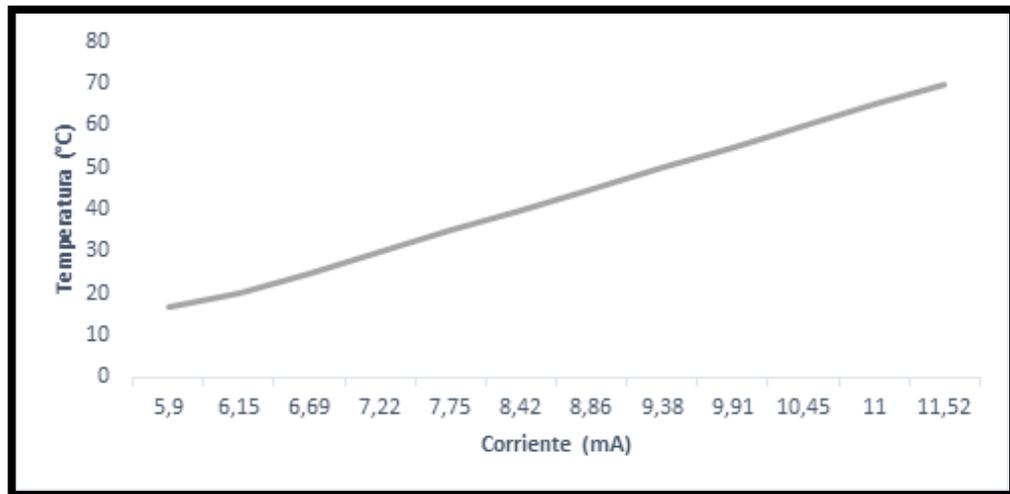
### 5.4.1 Termopar

En la **Tabla 7** se muestran los valores registrados para la prueba con el termopar. El comportamiento lineal de la corriente contra los cambios de temperatura se evidencia en la **Figura 19**. El transmisor entrega una corriente de 5,9mA para una temperatura de 17,2°C, y llega a una corriente máxima de 11,52mA para una temperatura de 70°C.

**Tabla 7:** Valores registrados de voltaje y corriente para el Termopar

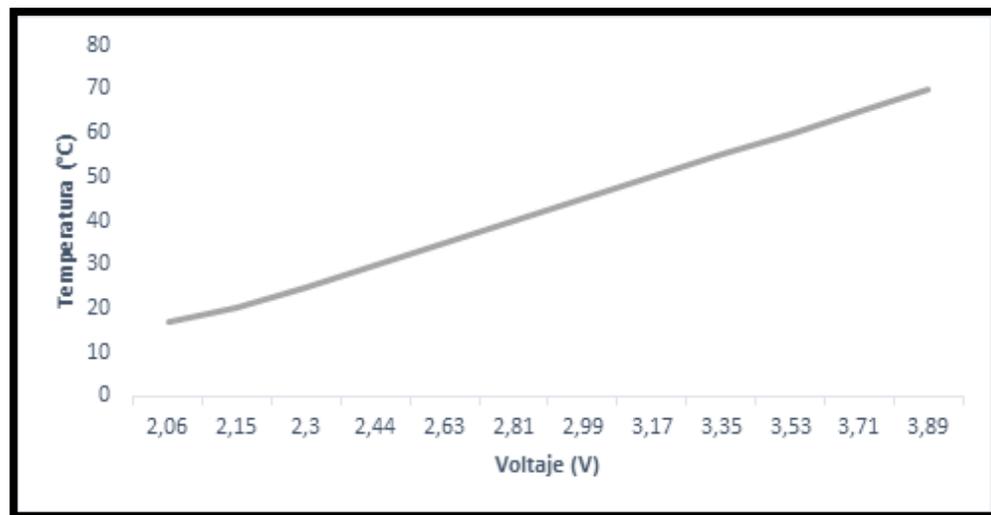
Temperatura		Corriente salida transmisor PRETOP	Voltaje salida conversor I to V	Tiempo
Patrón GLX	LabView			
17,2°C	17,6°C	5,9 mA	2,06 V	0 min
20,0°C	20,3°C	6,15 mA	2,15 V	3 min
25,0°C	25,3°C	6,69 mA	2,3 V	6,5 min
30,0°C	30,1°C	7,22 mA	2,44 V	11 min
35,0°C	35,5°C	7,75 mA	2,63 V	14,6 min
40,0°C	40,7°C	8,42 mA	2,81 V	18 min
45,0°C	45,4°C	8,86 mA	2,99 V	21,5 min
50,0°C	50,4°C	9,38 mA	3,17 V	25,25 min
55,0°C	55,5°C	9,91 mA	3,35 V	29,5 min
60,0°C	60,5°C	10,45 mA	3,53 V	34 min
65,0°C	65,7°C	11 mA	3,71 V	39 min
70,0°C	70,9°C	11,52 mA	3,89 V	44 min

La mediciones entregadas por la interfaz de LabView, son muy cercanas a las registradas por el instrumento patrón.



**Figura 19:** Corriente salida del transmisor del termopar vs Temperatura

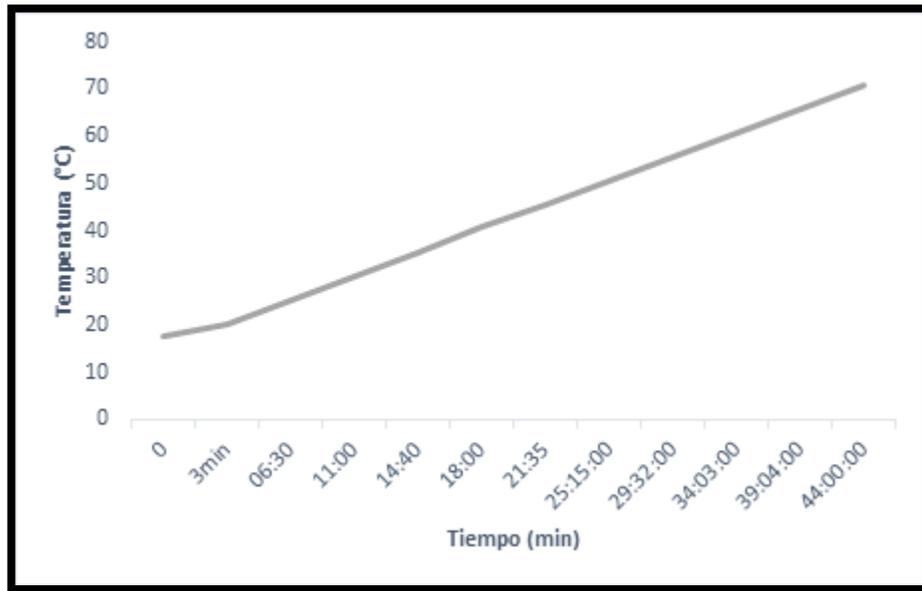
El voltaje de salida en el circuito conversor presenta también un comportamiento lineal, entregando un voltaje mínimo de 2.06V para 17,2°C y un máximo de 3,89V para 70°C como se ilustra en la **Figura 20**.



**Figura 20:** Voltaje salida del circuito conversor I to V del termopar vs Temperatura

Con fines experimentales, se realiza una medida de tiempo contra temperatura, y así analizar el comportamiento del cambio de temperatura. En la **Figura 21** se

observa un comportamiento igualmente lineal. No se detectan cambios bruscos de temperatura, logrando un delta de temperatura de 53°C en 44 minutos, es decir, una elevación de temperatura de aproximadamente 1,2°C/min.



*Figura 21: Lectura temperatura termopar vs tiempo*

#### 5.4.2 RTD - PT100

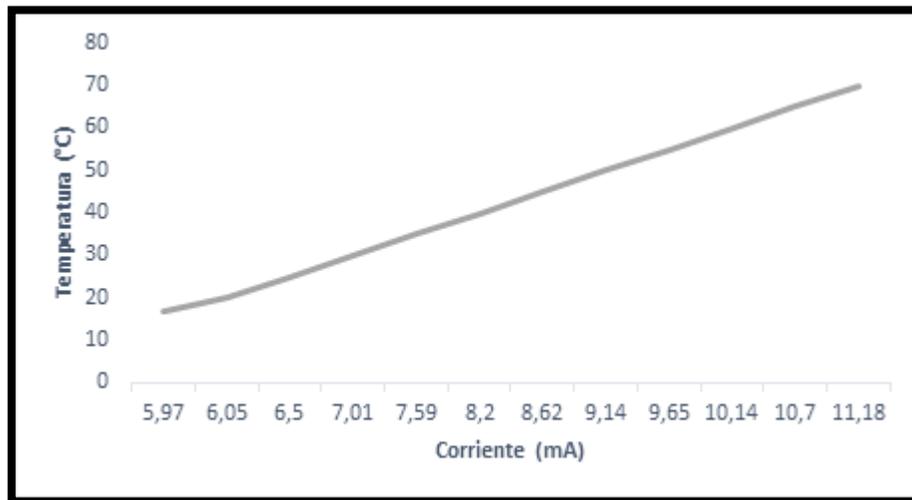
Los valores obtenidos en las mediciones realizadas para la RTD, se registran en la **Tabla 8**. Las mediciones se realizaron en los mismos intervalos de tiempo utilizados en el termopar, y serán los mismos para el termistor.

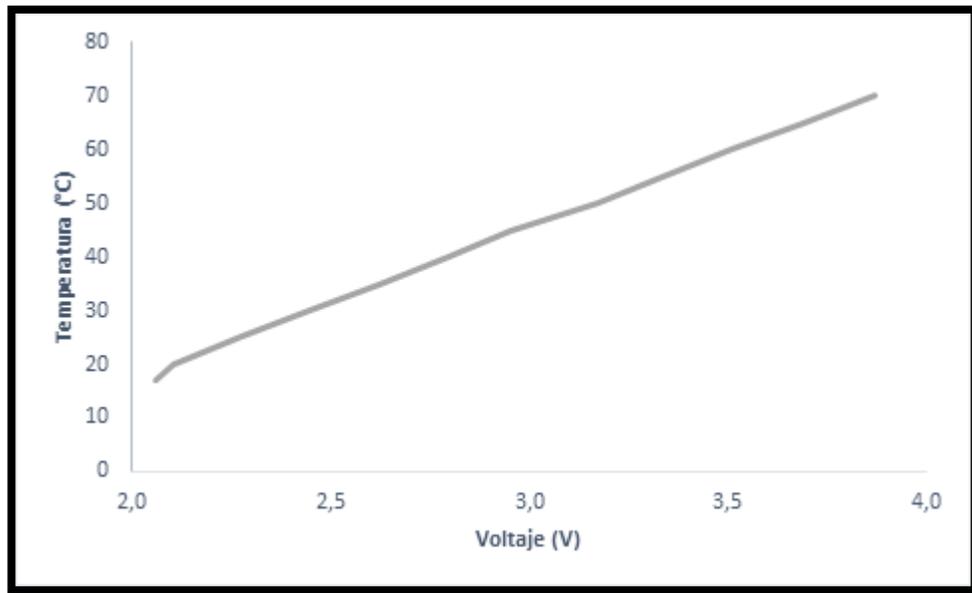
Aquí se obtiene una corriente y voltaje mínimo de 5,97mA y 2,02V para los 17,2°C, y una corriente y voltaje máximo de 11,18mA y 3,97V respectivamente, para una temperatura máxima medida de 70°C.

Las **Figura 22** y **Figura 23** evidencian el comportamiento lineal de las señales de voltaje y corriente para el sensor RTD PT100.

**Tabla 8:** Valores registrados de voltaje y corriente para la RTD PT100

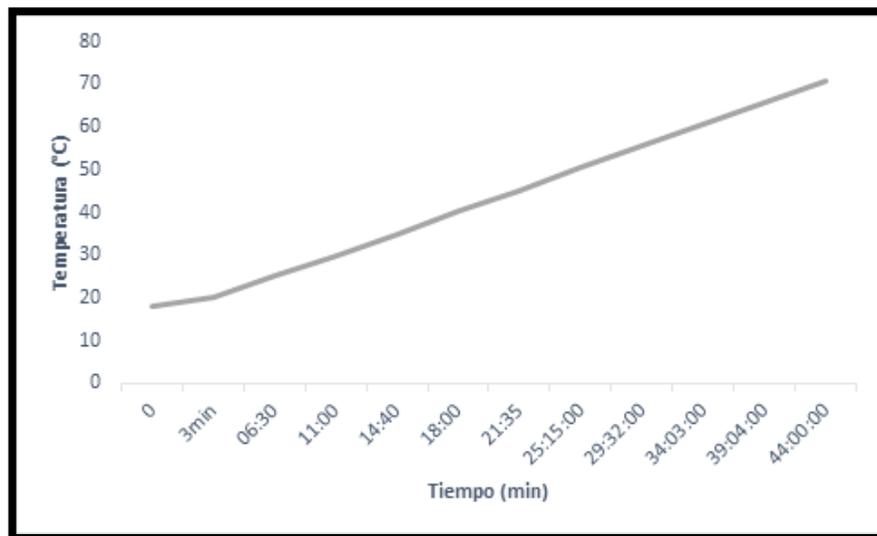
Temperatura		Corriente salida transmisor PRETOP	Voltaje salida conversor I to V	Tiempo
Patrón GLX	LabView			
17,2°C	17,9°C	5,97 mA	2,02 V	0 min
20,0°C	20,1°C	6,05 mA	2,16 V	3 min
25,0°C	25,0°C	6,5 mA	2,37 V	6,5 min
30,0°C	30,1°C	7,01 mA	2,52 V	11 min
35,0°C	35,1°C	7,59 mA	2,69 V	14,6 min
40,0°C	40,4°C	8,2 mA	2,88 V	18 min
45,0°C	45,2°C	8,62 mA	3,06 V	21,5 min
50,0°C	50,7°C	9,14 mA	3,24 V	25,25 min
55,0°C	55,4°C	9,65 mA	3,42 V	29,5 min
60,0°C	60,8°C	10,14 mA	3,6 V	34 min
65,0°C	65,9°C	10,7 mA	3,79 V	39 min
70,0°C	71,0°C	11,18 mA	3,97 V	44 min

**Figura 22:** Corriente salida del transmisor de la PT100 vs Temperatura



**Figura 23:** Voltaje salida del circuito conversor I to V de la PT100 vs Temperatura

El cambio de temperatura detectado por la RTD es lineal, y no se evidencia ninguna elevación de temperatura brusca durante el tiempo que se tomaron las muestras, como se observa en la **Figura 24**.



**Figura 24:** Lectura temperatura RTD PT100 vs tiempo

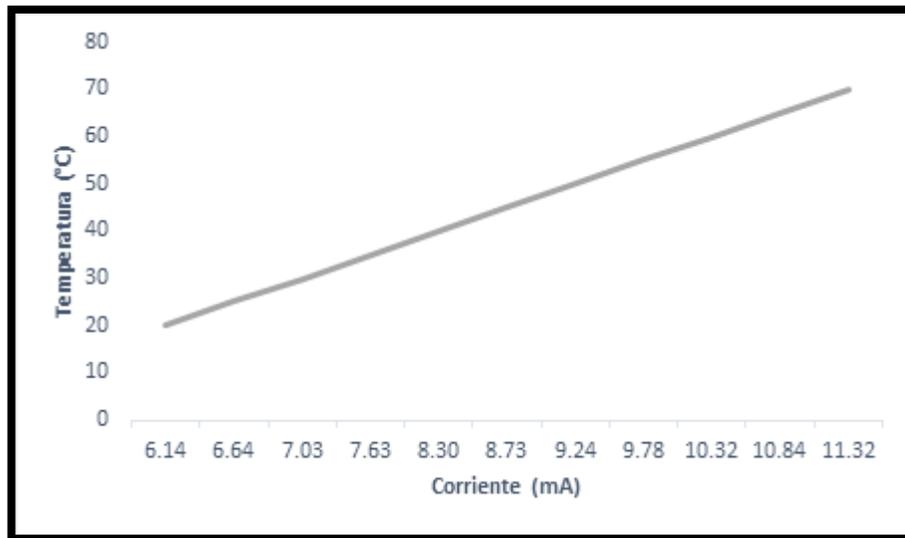
### 5.4.3 Termistor

Para el caso del termistor, en la **Tabla 9** se muestran los valores mínimos de corriente y voltaje son de 5,97mA y 2,06V, y los máximos de 11,32mA y 3,86V respectivamente.

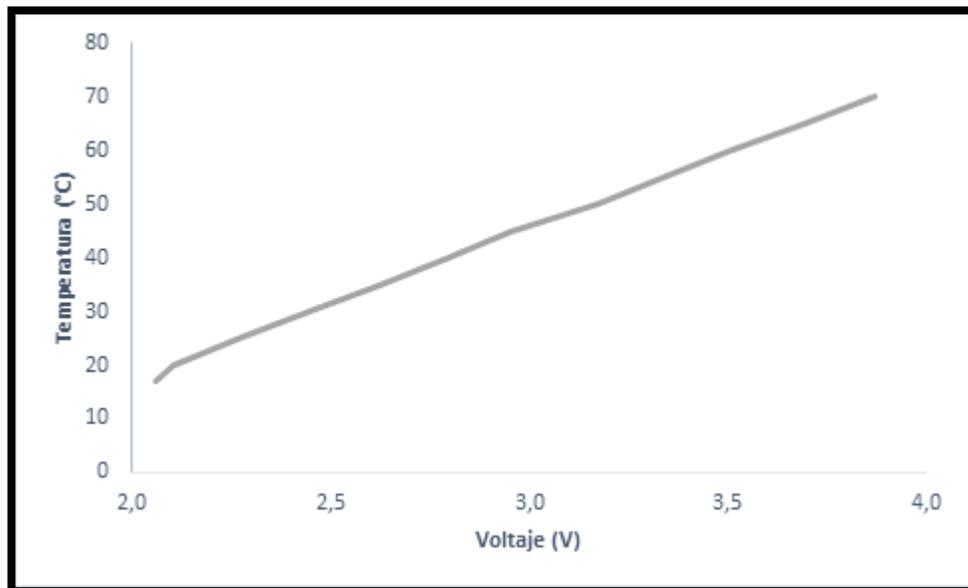
**Tabla 9:** Valores registrados de voltaje y corriente para el termistor

Temperatura		Corriente salida transmisor PRETOP	Voltaje salida conversor I to V	Tiempo
Patrón GLX	LabView			
17,2°C	17,6°C	5,97 mA	2,06V	0 min
20,0°C	20,3°C	6,14 mA	2,103V	3 min
25,0°C	25,5°C	6,64 mA	2,275V	6,5 min
30,0°C	30,4°C	7,03 mA	2,446V	11 min
35,0°C	35,4°C	7,63 mA	2,623V	14,6 min
40,0°C	40,1°C	8,30 mA	2,796V	18 min
45,0°C	45,1°C	8,73 mA	2,95V	21,5 min
50,0°C	50,9°C	9,24 mA	3,17V	25,25 min
55,0°C	55,2°C	9,78 mA	3,33V	29,5 min
60,0°C	60,2°C	10,32 mA	3,509V	34 min
65,0°C	65,1°C	10,84 mA	3,687V	39 min
70,0°C	70,9°C	11,32 mA	3,866V	44 min

La **Figura 25** confirma la linealidad de la corriente de salida del transmisor PROTEP para cambios graduales de temperatura. De igual forma, la **Figura 26** muestra que el voltaje de salida del conversor diseñado, es también proporcional.

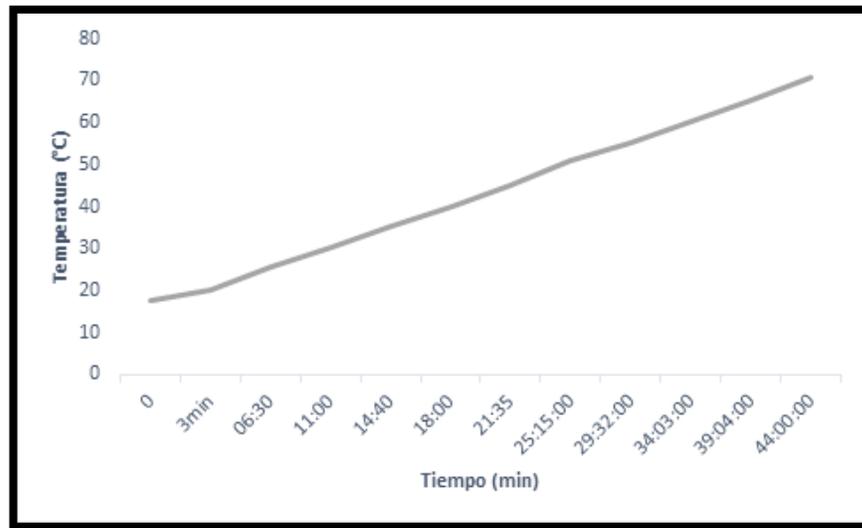


**Figura 25:** Corriente salida del transmisor del termistor vs Temperatura



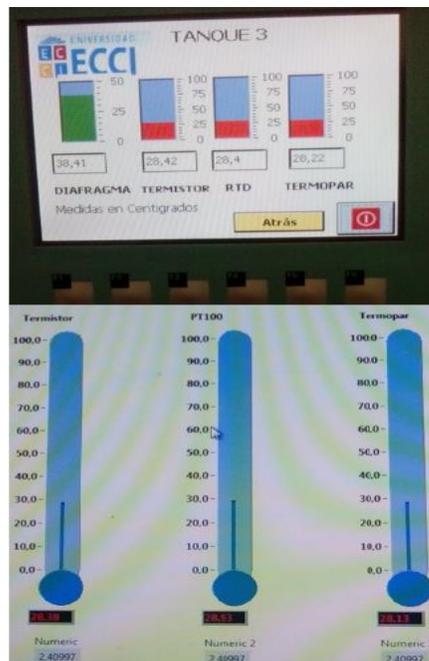
**Figura 26:** Voltaje salida del circuito conversor I to V del termistor vs Temperatura

Tal y como ocurre con el termopar y la RTD, las transiciones de temperatura para el termistor son paulatinas, y no hay registros de cambios bruscos de temperatura.



**Figura 27:** Lectura temperatura Termistor vs tiempo

En todos los casos, las lecturas entregadas por la interfaz de *LabView* y la implementada en el Touch Panel, son bastante cercanas. En la **Figura 28** se observa que la diferencia de los valores de temperatura en las interfaces, es bastante pequeña, del orden de décimas de °C.



**Figura 28:** Lectura interfaz PLC vs interfaz LabView

## 5.6 Análisis de resultados

Los resultados adquiridos en las pruebas realizadas se muestran en las **Figuras 20 a 28**. Allí se evidencia, el comportamiento lineal de los sistemas en los tres sensores. El conjunto Sensor-Transmisor-Convertor para los tres sensores opera correctamente.

Las **Tablas 7 a 9**, muestran que las mediciones realizadas con el instrumento patrón, concuerdan con las mostradas en la interfaz Gráfica en *LabView*. Todos los valores de corriente, voltaje y temperatura tomados en los tres sensores, son muy similares, evidenciando una buena implementación y un correcto funcionamiento de los sistemas.

Por otro lado las lecturas obtenidas en *LabView*, coinciden con las obtenidas en el Touch Panel SIMATIC S7-1200. La **Tabla 10** compara los valores medidos en la **Figura 28**, y muestra el porcentaje de error, teniendo como referencia la lectura del instrumento patrón.

**Tabla 10:** Comparación lecturas PLC y *LabView* - Error relativo

GLX (Patrón)	Termistor PLC	RTD PLC	Termopar PLC	Termistor <i>LabView</i>	RTD <i>LabView</i>	Termopar <i>LabView</i>
28.3°C	28.42°C	28.4°C	28.22°C	28.38°C	28.93°C	28.13°C
%Error	0.42%	0.35%	0.28%	0.28%	<b>2.22 %</b>	0.6%

El valor de error más elevado, es de 2.22%, y corresponde a la lectura obtenida en la interfaz de *LabView* para la RTD. Los resultados obtenidos en las dos interfaces son muy cercanos, y confirman el buen funcionamiento del sistema.

Para el rango de temperatura entre 17-70°C se logra una corriente de salida de transmisores entre 5,9mA y 11,5mA. Para el caso del voltaje de salida del convertor de corriente a voltaje, este rango se puede definir entre 2V y 4V. Estos valores de voltaje son tomados por la tarjeta de adquisición de datos NI6008, y por esto se logra la correcta visualización en las interfaces gráficas.

## 5.7 Cronograma del proyecto

De acuerdo con lo planteado al inicio del Capítulo 5, para lograr la culminación del proyecto y el cumplimiento de los objetivos planteados, se realizó una

segmentación del proceso a realizar, con la debida asignación de tareas específicas a cada uno de los integrantes del grupo de temperatura.

El proyecto para la implementación del módulo M-ECCL, inicia el 02 de Diciembre de 2013. Las tareas propuestas fueron producto de un análisis grupal en el que se consideran todas y cada una de las tareas necesarias para completar la implementación de los sensores, y asegurar su correcto funcionamiento en el módulo.

En el **Apéndice C** se detalla el cronograma del proceso realizado, con las fechas de cada una de las fases y tareas desarrolladas, con sus fechas de inicio y finalización.

## Conclusiones

1. Se realizó la implementación de los sensores, con base a la investigación realizada y a la asesoría recibida por de expertos en el tema. Cada sensor se instaló con su respectivo transmisor, de forma que se obtuviera una señal de salida de corriente entre 4-20mA. Los sensores fueron instalados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, de forma que operaran correctamente dentro del módulo.
2. Para lograr una señal de salida de voltaje lineal, se implementó un circuito conversor de corriente a voltaje, que toma la señal de corriente entre 4-20mA de los transmisores, y entrega un voltaje proporcional entre 0-5VDC. El funcionamiento de este conversor fue el adecuado, cumpliendo con los requisitos de operación planteados.
3. Se realizó una interfaz gráfica en Labview para visualizar la medición de los sensores de temperatura. Las pruebas realizadas evidencian el correcto funcionamiento de la interfaz, en la cual se visualizó que los valores medidos coinciden con el instrumento patrón utilizado *Xplorer GLX*.
4. Se realizó la caracterización de los sensores de temperatura, de tal forma que los datos obtenidos, permitieron enviar la señal a través de la tarjeta NI6008 hacia la interfaz del software diseñado en Labview. Las pruebas realizadas, entregaron la información suficiente para conocer el comportamiento de cada uno de los sensores.
5. Se observó que para evitar daños en la resistencia de inmersión, era necesario que el nivel del tanque este siempre por encima del 95%. Esto generó una limitante en cuanto a la operación del sistema, puesto que no es posible realizar pruebas con el tanque parcialmente lleno, ni tener en funcionamiento la motobomba mientras se estén realizando las mediciones de temperatura.
6. El tiempo total que tarda la resistencia en llevar el líquido a la temperatura máxima de 70°C, es aproximadamente 44 minutos. Esto generó inconvenientes en la toma de muestras, y a futuro será una limitación para los fines prácticos en los que será usado el modulo M-ECCI.

7. Los sensores, transmisores y conversor implementado, funcionan adecuadamente, cumpliendo con los requerimientos del módulo M-ECCI al entregar valores reales de temperatura en el tanque 3, y permitiendo su visualización en un PC y en el panel del PCL de Siemens.
8. Se elaboraron las guías de laboratorio, acorde a los lineamientos de la universidad, se especifican objetivos, marco teórico y prácticas para que los estudiantes puedan facilitar su entendimiento y comprensión de los aspectos tanto teóricos como aplicados de las áreas de instrumentación, control y Automatización.

## Trabajos Futuros

1. Implementar un nuevo sistema de calentamiento del material de proceso en el tanque 3, de forma que no sea necesario mantener el tanque completamente lleno.
2. Se propone incluir un calentador de paso, instalado aguas arriba del tanque 3, que almacene y mantenga cierta cantidad de agua caliente. De acuerdo a los requerimientos de aumento de temperatura, se realice la apertura o se cierre una válvula desde el calentador hacia el tanque, y de esta forma poder realizar prácticas con niveles diferentes de agua en el tanque 3.
3. El sistema de calentamiento, debe lograr un aumento de temperatura en un tiempo mucho menor al actual, de esta forma, será posible comparar los tiempos de respuesta de las tres clases de sensores, y brindar mayor información al estudiante, sobre la forma de operación de cada uno.
4. Realizar la instalación del sistema que inicialmente se planteó en este proyecto, el cual es por medio de una resistencia de efecto Peltier, que permitirá variar la temperatura para aumentarla o disminuirla sin depender de que el tanque se encuentre al 95% de su capacidad, en donde el estudiante pueda observar el comportamiento de la temperatura en el tanque en forma ascendente y descendente

## Glosario

- **Conductividad Eléctrica:** Es la medida de la capacidad de un material para dejar pasar (o dejar circular) libremente la corriente eléctrica. La conductividad depende de la estructura atómica y molecular del material. Los metales son buenos conductores porque tienen una estructura con muchos electrones con vínculos débiles, y esto permite su movimiento. La conductividad también depende de otros factores físicos del propio material, y de la temperatura.
- **Conductividad Térmica:** Es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras moléculas adyacentes o a sustancias con las que no está en contacto.
- **Diferencia de Potencial:** Diferencia de voltaje entre dos puntos, equivalente al trabajo que se necesita para transferir una unidad de carga desde un punto de referencia a otro determinado.
- **Fuente de voltaje variable:** Dispositivo que convierte la corriente alterna, en una o varias corrientes continuas, que alimentan los distintos circuitos del dispositivo electrónico al que se conecta.
- **Fuerza Electromotriz:** Es toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado. Es una característica de cada generador eléctrico. Con carácter general puede explicarse por la existencia de un campo electromotor  $\varepsilon$  cuya circulación,  $\int_S \varepsilon ds$  define la fuerza electromotriz del generador.
- **Gradiente Térmico:** Aumento o disminución gradual de la temperatura a lo largo de un espacio, geográfico o del tiempo. La unidad del gradiente térmico en el sistema internacional es el Kelvin/metro. Típicamente, la existencia de un gradiente térmico provoca una transferencia de calor desde el cuerpo más caliente hacia el cuerpo más frío.
- **GLX:** Patrón de medida de temperatura el cual alcanza hasta 70°C.

- **Interfaz:** Conexión que se da de manera física y a nivel de utilidad entre dispositivos o sistemas. La interfaz, por lo tanto, es una conexión entre dos máquinas de cualquier tipo, a las cuales les brinda un soporte para la comunicación a diferentes niveles. Es posible entender la interfaz como un espacio (el lugar donde se desarrolla la interacción y el intercambio).
- **Labview:** Plataforma y entorno de National Instruments para el desarrollo y diseño de sistemas mediante un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad.
- **Linealidad:** Es una propiedad importante de los métodos utilizados para efectuar mediciones en un intervalo de concentraciones. La linealidad de la respuesta a patrones puros (MRC) y a muestras realistas puede determinarse. La linealidad generalmente no es cuantificada pero es comprobada mediante inspección o utilizando pruebas de significancia de la no-linealidad.
- **Multímetro:** Instrumento eléctrico portátil para medir directamente magnitudes eléctricas activas como corrientes y potenciales (tensiones) o pasivas como resistencias, capacidades y otras. Las medidas pueden realizarse para corriente continua o alterna y en varios márgenes de medida cada una.
- **Pinza amperimétrica:** Amperímetro que permite obviar el inconveniente de tener que abrir el circuito en el que se quiere medir la corriente para colocar un amperímetro clásico.
- **Osciloscopio:** Instrumento de visualización electrónico para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo.
- **PT100:** Nomenclatura de un sensor de temperatura de platino y con valor de  $100\Omega$  a  $0^{\circ}\text{C}$ .
- **RTD:** Detector de temperatura resistivo que varía su valor en función de la temperatura.
- **Ruido Eléctrico:** Se denomina ruido eléctrico, interferencias o parásitos a todas aquellas señales, de origen eléctrico, no deseadas y que están unidas a la señal principal, o útil, de manera que la pueden alterar produciendo efectos que pueden ser más o menos perjudiciales. Cuando la señal principal es analógica, el ruido será perjudicial en la medida que lo sea su amplitud respecto a la señal principal. Cuando las señales son digitales, si el ruido no es capaz de producir un cambio de estado, dicho

ruido será irrelevante. Sin descartar que el ruido nunca se puede eliminar en su totalidad.

- **Sensor:** Dispositivo que capta magnitudes físicas (variaciones de luz, temperatura, sonido, etc.) u otras alteraciones de su entorno.
- **Temperatura:** Es una medición de la energía cinética promedio de las partículas en una muestra de materia, que se expresa en unidades de grados o en una escala estándar.
- **Tensión Mecánica:** Denomina a la magnitud física que representa la fuerza por unidad de área en el entorno de un punto material sobre una superficie real o imaginaria de un medio continuo. Es decir posee unidades físicas de presión. La definición anterior se aplica tanto a fuerzas localizadas como fuerzas distribuidas, uniformemente o no, que actúan sobre una superficie.
- **Termoeléctrico:** Es la conversión directa de la diferencia de temperatura a voltaje eléctrico y viceversa. Un dispositivo termoeléctrico crea un voltaje cuando hay una diferencia de temperatura a cada lado.
- **Termómetro:** Instrumento técnico destinado a medir temperaturas, o sea la energía interna que un cuerpo posee. En general constan de un tubo cerrado, de vidrio alargado y fino, que contiene interiormente mercurio o alcohol coloreado dentro del bulbo, parte ensanchada del aparato.
- **Termómetro Patrón:** Un termómetro patrón es aquel, que sirve de referencia y cuya incertidumbre, desviación y trazabilidad están certificadas por un laboratorio autorizado.
- **Termopar:** También llamado termocupla, es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña (del orden de los mili voltios) que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado «punto caliente» o «unión caliente» o de «medida» y el otro llamado «punto frío» o «unión fría» o de «referencia» (efecto Seebeck).
- **Transductor:** Dispositivo que transforma la potencia eléctrica de una corriente en otro tipo de energía (mecánica, sonora, etc.), o viceversa.
- **Transmisor:** Instrumento que capta la variable en proceso y la transmite a distancia a un instrumento indicador o controlador. La función primordial de este dispositivo es tomar cualquier señal para convertirla en una señal estándar adecuada para el instrumento receptor.
- **Unión en Frio:** El mecanismo de compensación de unión de metales homogéneos es una técnica utilizada en circuitos de medición de temperatura, principalmente basados en termopares, para compensar la

dependencia con la temperatura ambiente inherente en la realización de la medida. Dicha compensación permite la realización de una medida absoluta de la temperatura de un cuerpo o fluido.

- **Voltaje parásito:** Se entiende toda componente de tensión indeseada que se superpone con la componente de señal que se procesa o que interfiere con el proceso de medida. Componente de la tensión alterna de la tensión de salida como suma del rizado residual y crestas de tensión en la margen de MHz. La indicación resulta en un valor pico a pico. El origen de las crestas parásitas son fenómenos de conmutación dentro de la fuente de alimentación de transistores y diodos que tienen una duración de típicamente 50ns y excitan oscilaciones bajas en las líneas de salida (periódicamente con frecuencia de conmutación).

# Apéndices

## Circuito conversor de corriente a voltaje

A-1 Esquemático Circuito conversor de corriente 4-20mA a voltaje 0-5VDC.

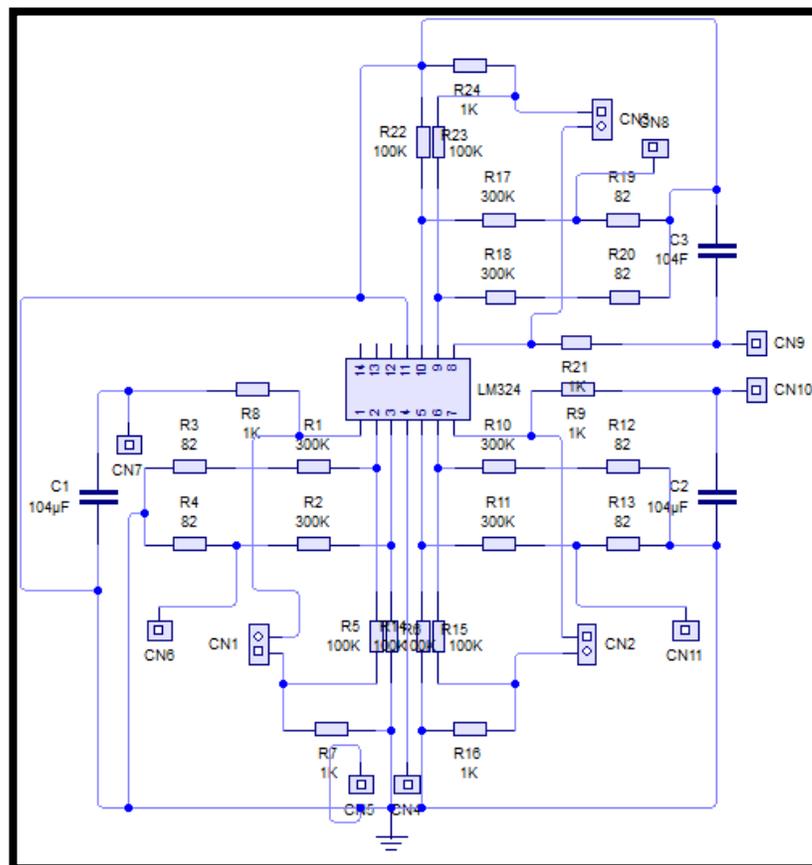


Figura A- 1: Esquemático circuito conversor de corriente a voltaje.

A-2 Impreso para tarjeta conversor de corriente a voltaje.



Figura A-2: Impreso para tarjeta conversor de corriente a voltaje

# Interfaz gráfica LabView

## B-1 Panel frontal interfaz gráfica LabView.

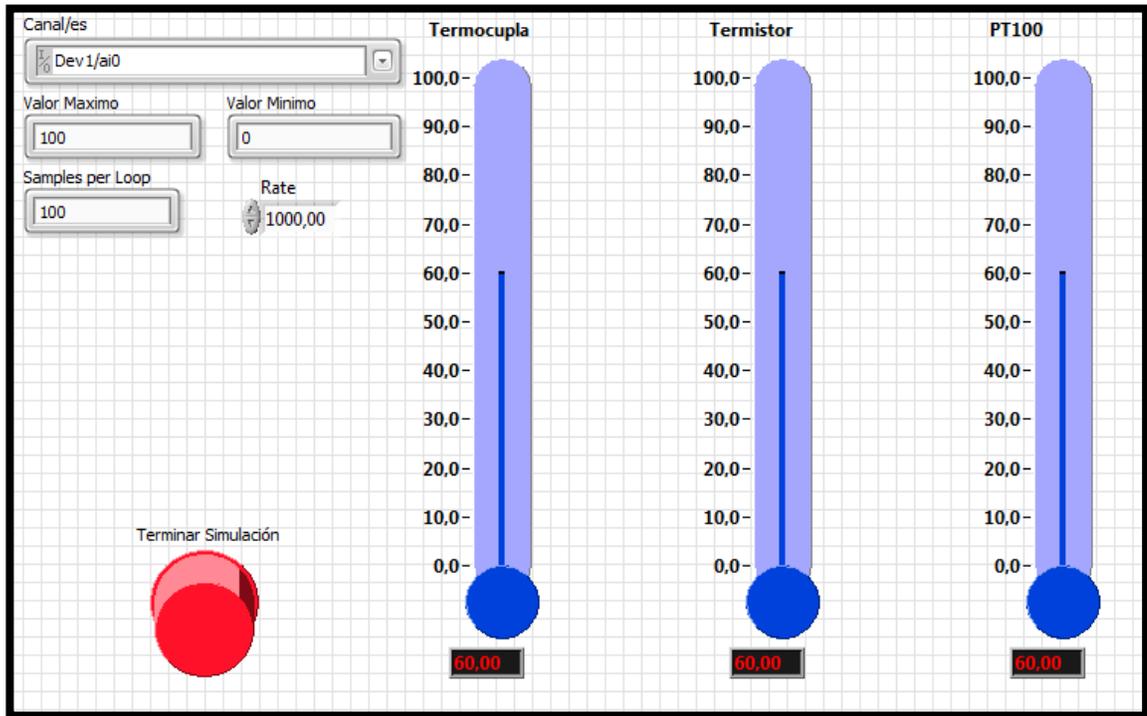
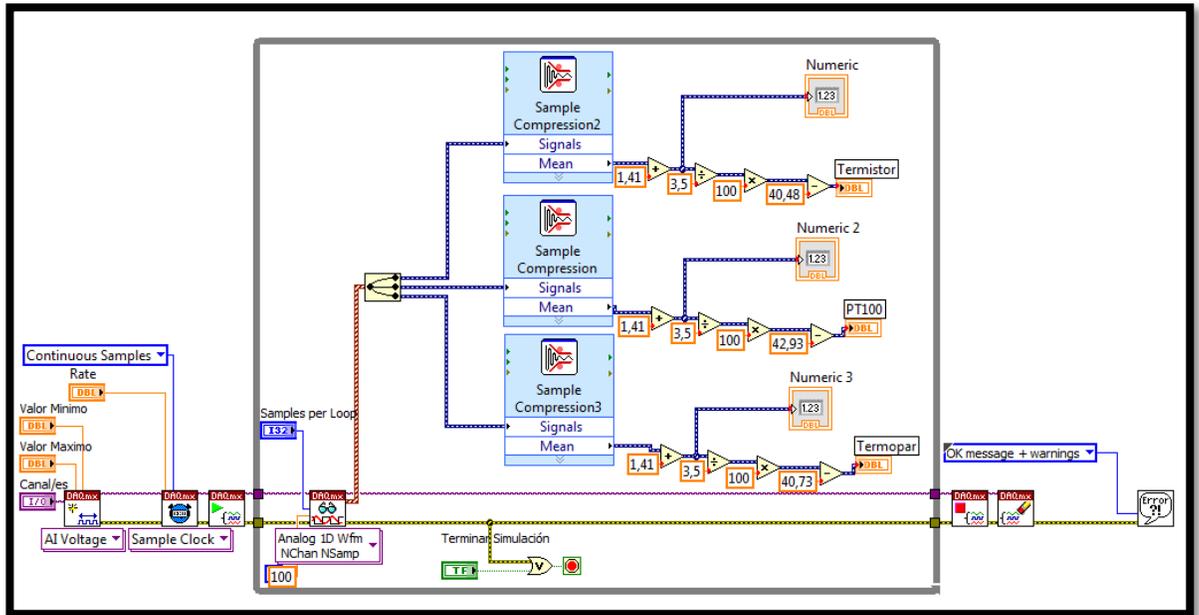
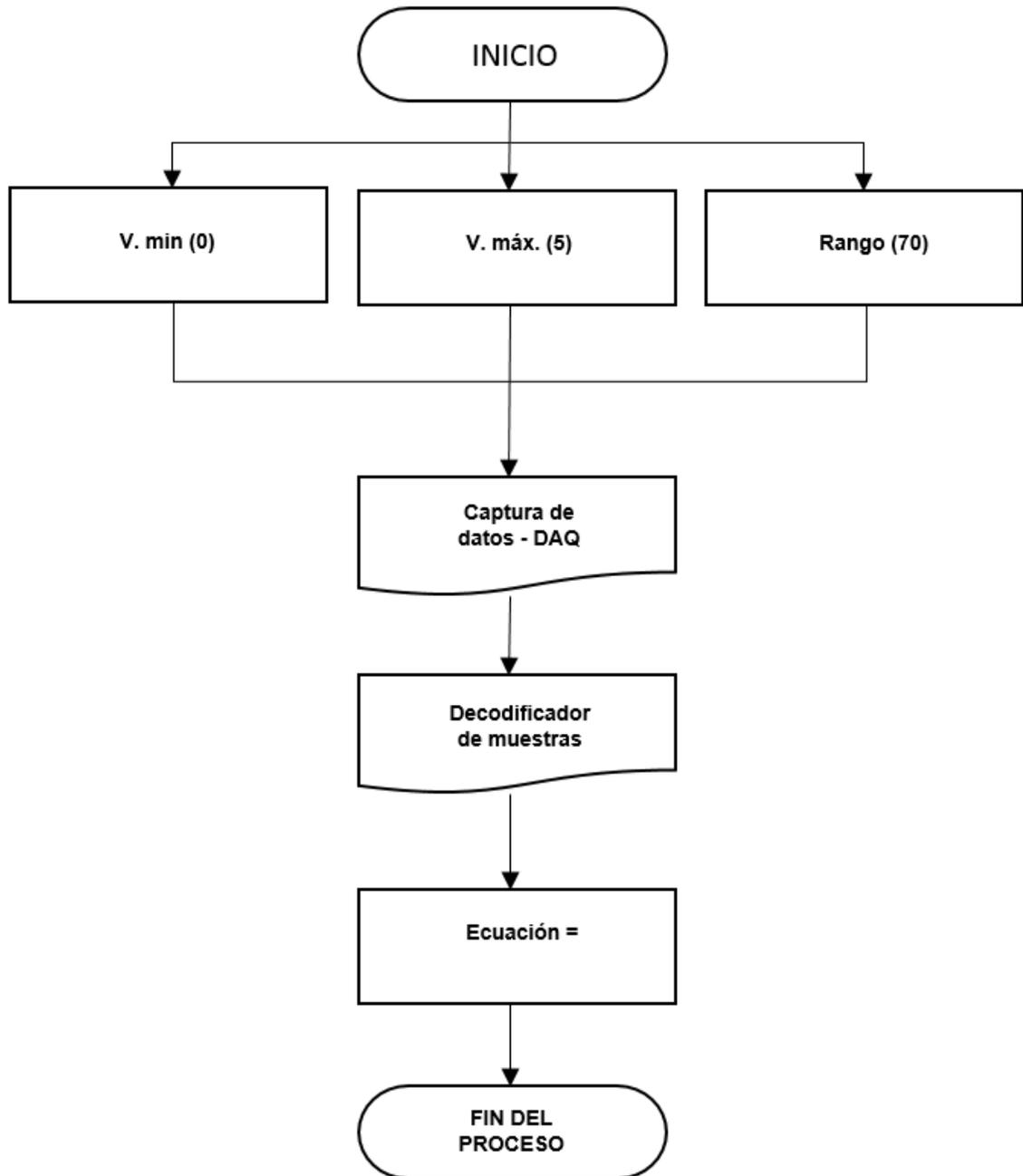


Figura B- 1: Panel frontal interfaz gráfica LabView.

**B-2 Diagrama de bloques interfaz gráfica LabView.**



*Figura B- 2: Diagrama de bloques interfaz gráfica LabView.*

**B-3 Diagrama de flujo***Figura B- 3: Diagrama de flujo*

# Cronograma

## C Cronograma Proceso Temperatura.

### Cronograma Temperatura

23-ago-2014

#### ECCI

http://

Encargado del proyecto	Mardo Barajas Horniga
Fechas de inicio y fin del proyecto	02-dic-2013 - 30-ago-2014
Progreso	98%
Tarea	34
Recursos	8

### Cronograma Temperatura

23-ago-2014

#### Tarea

2

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
PROYECTO COMPLETO <i>Tiempo total del proyecto para el grupo de temperatura.</i>	2/12/13	29/08/14
Alcance_1 <i>Desarrollar cronograma de actividades, investigación similar del proyecto a ejecutar, definición de grupos de trabajo.</i>	2/12/13	13/12/13
Alcance_2 <i>Simular los diferentes tipos de sensores de temperatura para pruebas con la tarjeta de adquisición de datos y adelanto en la interfaz labview.</i>	13/12/13	21/01/14
Alcance_3 <i>Proceso de compras de los respectivos sensores, cotizaciones de elementos para las respectivas compras de ECCI</i>	11/02/14	14/05/14
Alcance_4 <i>Proceso de compras, sensores de temperatura. se extendió el plazo por análisis de proveedores.</i>	11/02/14	14/05/14
Alcance_5 <i>Realización de objetivos del libro.</i>	28/03/14	9/04/14
Alcance_6 <i>Inicio de guías según el formato establecido</i>	28/03/14	9/04/14
Alcance_7 <i>Cálculos de consumo de sensores y tipo de cable a utilizar, Realización de objetivos del libro, Entrega de adelanto del libro</i>	31/03/14	2/04/14
Alcance_8 <i>Solicitar fichas técnicas de los sensores y fecha de entrega de la universidad de los respectivos sensores. - Entrega de las correcciones realizadas a la introducción y objetivos del libro. - Iniciar con el marco teórico de libro de temperatura - Avances de las guías de cada sensor.</i>	2/04/14	9/04/14
Alcance_9 <i>Realizar teoría de principio temperatura, Corrección de guía de termistor y termocupla.</i>	9/04/14	21/04/14
Alcance_10 <i>Realizar de justificación de libro pasantía, comenzar el glosario del libro y realizar avance de las correcciones de las guías.</i>	22/04/14	30/04/14
Alcance_11 <i>Realizar la corrección de la justificación, Terminar teoría del termistor, Solicitar cronograma al grupo comercial.</i>	23/04/14	28/04/14

## Cronograma Temperatura

23-ago-2014

## Tarea

3

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
Alcance_12 <i>Revisión del libro completo hasta el marco teórico del termistor, Correcciones de las guías, inicio de teoría de la termocupla.</i>	30/04/14	7/05/14
Alcance_13 <i>Trabajar en el marco teórico del libro, Trabajar en guías de cada sensor.</i>	7/05/14	14/05/14
Alcance_14 <i>Capacitación general para el grupo, manejo de transmisores de los sensores de temperatura.- completar glosario, recibimiento de los sensores de temperatura (RTD, Termistor, PT100).</i>	14/05/14	19/05/14
Alcance_15 <i>Instalar los sensores de temperatura en el tanque tres.</i>	19/05/14	20/05/14
Alcance_16 <i>Mediciones de los sensores de temperatura analizando tiempos de respuesta comportamiento de corriente vs temperatura y las diferentes variables a analizar.</i>	26/05/14	11/06/14
Alcance_17 <i>Adelantar y llevar a cabo correcciones de las guías y libro de pasantías, Realizar pruebas en labview con los resultados ya obtenidos en las pruebas anteriores.</i>	11/06/14	18/06/14
Alcance_18 <i>Realizar pruebas de los 3 sensores al tiempo y tomar datos. realizar pruebas en prototipo de protoboard para la regulación de voltajes</i>	27/06/14	1/07/14
Alcance_19 <i>Realizar pruebas con prototipo para manejo de las tres señales.</i>	3/07/14	4/07/14
Alcance_20 <i>Fabricar PCB para el acondicionamiento de las tres señales y entrega de una señal de voltaje regulada.</i>	3/07/14	4/07/14
Alcance_21 <i>Realizar el montaje de los componentes para las pobs hechas.</i>	3/07/14	4/07/14
Alcance_22 <i>Realizar pruebas con el agitador y la respectiva pob para recibir las tres señales de corriente y transformarlas en voltaje</i>	4/07/14	7/07/14
Alcance_23 <i>Realizar pruebas con el moto agitador, la tarjeta, y la interfaz en labview.</i>	7/07/14	8/07/14
Alcance_24 <i>Verificar los Objetivos, e Incorporar las delimitaciones para complementar el libro. hacer ajustes en las mediciones con la interfaz labview.</i>	8/07/14	14/07/14

## Cronograma Temperatura

23-ago-2014

## Tarea

4

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
Alcance_25 <i>Realizar las correcciones de las delimitaciones. Realizar presupuesto de materiales y equipos adicionales utilizados en el proyecto.</i>	14/07/14	16/07/14
Alcance_26 <i>Realizar la corrección y estandarización de las guías de los sensores RTD, TERMISTOR, TERMOCUPLA, así como correcciones del libro</i>	16/07/14	21/07/14
Alcance_27 <i>Realizar las gráficas con los resultados obtenidos del comportamiento de los sensores RTD, TERMISTOR, TERMOCUPLA.</i>	21/07/14	22/07/14
Alcance_28 <i>Realizar verificación de datos obtenidos con datos teóricos y describirlos en el libro. Instalar los sensores en todos los módulos y cablear los sensores en el módulo principal.</i>	22/07/14	29/07/14
Alcance_29 <i>Realizar revisión final de las guías, medir los cambios de la resistencia contra la temperatura en los sensores RTD, Termistor.</i>	29/07/14	6/08/14
Alcance_30 <i>Revisión del libro, integración del procedimiento y pruebas hechas en el libro.</i>	6/08/14	13/08/14
Alcance_31 <i>Finalización del libro de pasantía, conclusiones.</i>	13/08/14	20/08/14
Alcance_32 <i>preparación sustentación ante asesor de pasantía Ing Nestor De La Cuesta, finalización proceso de grupo de temperatura en el módulo de instrumentación diseñado para Escuela Colombiana de Carreras Industriales ECCI.</i>	20/08/14	21/08/14
Alcance_33 <i>Proceso para sustentación final ante Jurados designados por la ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES.</i>	22/08/14	29/08/14

# Plano de conexión

## D Plano de conexión sistema de temperatura – módulo M-ECCI.

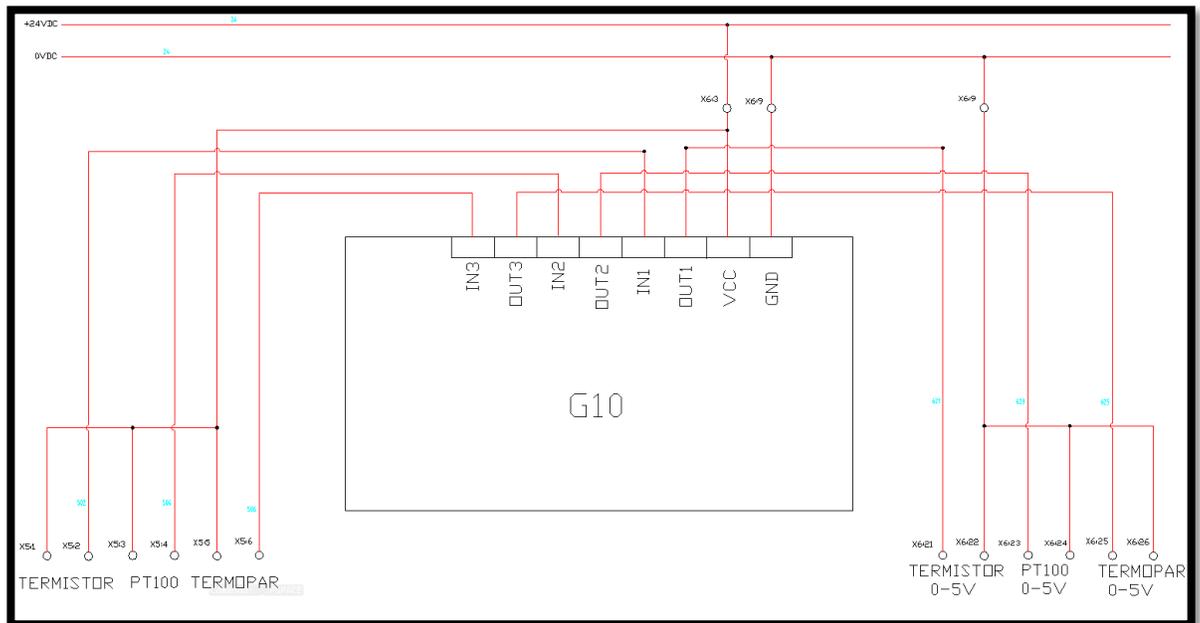


Figura D- 1: Plano de conexión sistema de temperatura – módulo M-ECCI.

## Bibliografía

- [1] Cerón, A. (2001). *Diseño e implementación de un módulo para medición de variables*. Medellín, Colombia: Universidad de San Buenaventura.
- [2] Pallas, R. (2005). *Sensores y acondicionadores de señal*. Sevilla, España: Marcombo, pp. 68-71.
- [3] Pallas, R. (2005). *Sensores y acondicionadores de señal*. Sevilla, España: Marcombo, pp. 72-73.
- [4] Torrejón, O. (2011). *Diseño, fabricación y caracterización de un sensor de caudal para aplicaciones PCB-MEMS*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- [5] Termokew, Termopares. Obtenido de <http://www.termokew.mx/termopares.php>
- [6] Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial*. México: Alfaomega.
- [7] National Instruments, *Cómo realizar una Medición con un termopar*. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/7108/es/>
- [8] [www.ayudaelectronica.com](http://ayudaelectronica.com), ¿Qué es un termistor? Obtenido de <http://ayudaelectronica.com/que-es-un-termistor/>
- [9] Ingeniatic. , *Termistores*. Obtenido de <http://ayudaelectronica.com/que-es-un-termistor/>
- [10] Scribd, *Termistores*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/205880278/2012-Termistores>
- [11] López, L. (2013). *Diseño de exoesqueleto aplicado a terapia física para rehabilitación de extremidades*. Guatemala: Universidad San Carlos.
- [12] Binda, S. (2011). *Automatización de una planta recuperadora de arena*. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma.
- [13] Lema, J. (2012). *Módulo didáctico para el monitoreo y control de tres variables*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- [14] Gonzales, D., *Diseño e implementación de un modulo didáctico para control de nivel, temperatura y caudal*. Ecuador: Escuela Politécnica del Ejercito.

- [15] Martínez, M. (2010). *Aportaciones a la instrumentación electrónica en la optimización de sistemas basados en energía solar*. España: Universidad de Huelva.
- [16] Ruiz, J. (2010). *Construcción y Monitoreo de Variables de un Prototipo para el Tratamiento Biológico de un Efluente*. Cuernava, México: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.
- [17] Castro, M. (2012). *Diseño e implementación de un sistema de control para el procesos de tinturado de hilos en un planta textil*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- [18] Encinas, J. (2011). *Simulador de temperatura de un sensor RTD PT100 mediante microconvertidor ADuC812 e interfaz de usuario LabView*. España: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria.
- [19] Senner, A. (1994). *Principios de Electrotecnia*. Barcelona, España: Reverté.
- [20] Cáceres, J. J. (2009). *Diseño y construcción de prototipo de sistema de monitoreo de subestaciones eléctricas*. San Tecla, El Salvador: Escuela Especializada en Ingeniería ITCA.

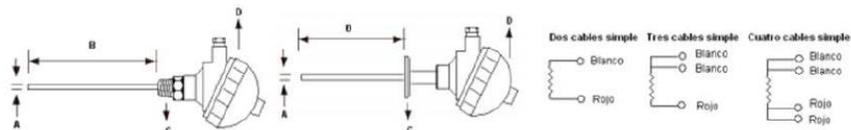
# Anexos

## Anexo 1: Ficha técnica Termistor

Termoresistencia PT100 con cabezote rosca VIA Catalogo Español [www.viaindustrial.com](http://www.viaindustrial.com)



### Termoresistencias PT100 con Cabezote



### Termoresistencia PT100 tipo Industrial (Configuración estándar)

- Material del bulbo: SS304
- Cabeza con terminales (D): Aluminio Grande IP65 con 3 Terminales

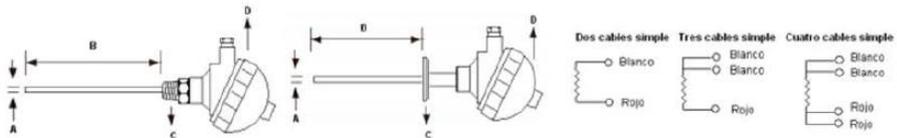
Numero de hilos ⇄		3 Hilos Simple	
Clase del elemento (Elemento simple) ⇄		PT100 Clase B	
Temperatura Máxima de trabajo ⇄		260 °C	
Diámetro exterior del bulbo OD (A) ⇄		¼" OD	
Imagen	Conexión al proceso estándar (C)	Longitud del bulbo en pulgadas (B)	
		2"	125202
		4"	125204
		6"	125206
		8"	125208
		12"	125210
		18"	125212
		2"	125214
		4"	125216
		6"	125218
		8"	125220
		8"	125222

# Anexo 2: Ficha técnica PT100.

Termoresistencia PT100 con cabezote rosca VIA Catalogo Español [www.viaindustrial.com](http://www.viaindustrial.com)



## Termoresistencias PT100 con Cabezote



### Termoresistencia PT100 tipo Industrial (Configuración estándar)

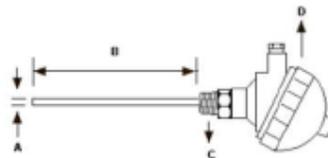
- Material del bulbo: SS304
- Cabeza con terminales (D): Aluminio Grande IP65 con 3 Terminales

Numero de hilos ⇄			3 Hilos Simple
Clase del elemento (Elemento simple) ⇄			PT100 Clase B
Temperatura Máxima de trabajo ⇄			260 °C
Diámetro exterior del bulbo OD (A) ⇄			¼" OD
Imagen	Conexión al proceso estándar (C)	Longitud del bulbo en pulgadas (B)	
		2"	125202
		4"	125204
		6"	125206
		8"	125208
		12"	125210
		18"	125212
		2"	125216
		4"	125218
		6"	125220
		8"	125222

# Anexo 3: Ficha técnica Termopar Tipo K.



**Termocuplas tipo Industrial**



Termocuplas con cabezote Tubo en Acero Inoxidable				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexión al proceso estándar (C): 1/2" NPT.</li> <li>• Cabeza con terminales (D): Aluminio Grande IP65 con 2 Terminales</li> </ul>				
Tipo del elemento (Elemento simple) ⇔			Tipo J	Tipo K
Calibre del elemento ⇔			Cal. 20	
Diámetro exterior del bulbo OD (A) ⇔			1/4" OD	
Imagen	Material del bulbo	Longitud del bulbo en pulgadas (B)		
	SS 304	2"	123602	123616
		4"	123604	123618
		6"	123606	123620
		8"	123608	123622
		12"	123610	123624
		18"	123612	123626
		24"	123614	123628



# Anexo 4: Ficha técnica Transmisor Pretop 5333.



## TRANSMISOR DE 2 HILOS PROGRAMABLE PRETOP 5334

- *Entrada TC*
- *Precisión en la medida alta*
- *Aislamiento galvánico*
- *Valor de error en el sensor programable*
- *Montaje sobre cabezales DIN form. B*

### **Aplicación**

- Medida de temperatura linealizada con sensor termopar.
- Amplificación de señales de mV bipolares a señales de 4...20 mA, opcionalmente linealizadas de acuerdo a la función de linealización definida.

### **Características técnicas**

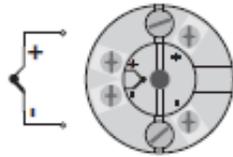
- En sólo unos pocos segundos el usuario puede programar PR5334 para medir temperaturas dentro de todos los rangos definidos por la normativa.
- Compensación de unión fría (CJC) con un sensor de temperatura incorporado.
- Chequeo continuo de datos de retardo acumulado por razones de ahorro.

### **Montaje / instalación**

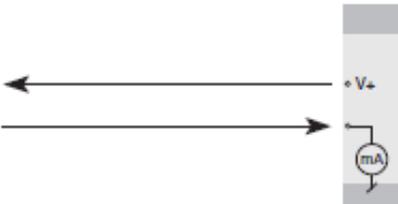
- Para cabezales de sensor DIN formato B. En áreas no peligrosas, el 5334 puede ser montado en carril DIN con el aplique PR tipo 8421.
- NB: Como barrera Ex recomendamos el 5104B, 5114B ó 5116B.

### APLICACIONES

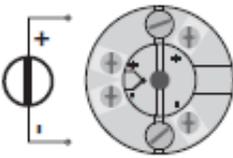
TC a 4...20 mA



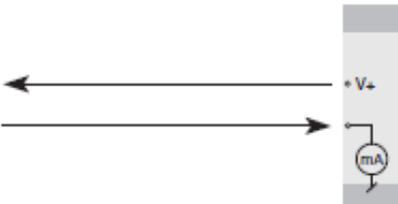
Instalación de 2 hilos en sala de control



mV a 4...20 mA



Instalación de 2 hilos en sala de control



Pedido: 5334

Tipo	Versión	Temperatura ambiente	Aislamiento galvánico
5334	Estándar : A ATEX Ex : B	-40°C...+85°C : 3	1500 VCA : B

**Especificaciones eléctricas****Rango de especificaciones:**

-40°C a +85°C

**Especificaciones comunes:**

Voltaje de alimentación, CC

Estándar ..... 7,2...35 V

ATEX Ex ..... 7,2...30 V

Consumo interno ..... 25 mW...0,8 W

Caída de tensión ..... 7,2 VCC

Voltaje de aislamiento, test / operación ..... 1,5 kVCA / 50 VCA

Tiempo de calentamiento ..... 5 min.

Interfase de comunicaciones ..... Loop Link

Relación señal / ruido ..... Min. 60 dB

Tiempo de respuesta (programable) ..... 1...60 s

Tiempo de chequeo de la EEPROM ..... &lt; 3,5 s

Señal dinámica, entrada ..... 20 bits

Señal dinámica, salida ..... 16 bits

Temperatura de calibración ..... 20...28°C

Precisión, la mayor de los valores generales y básicos:

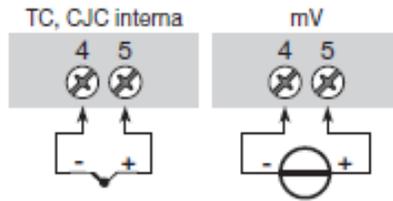
Valores generales		
Tipo de entrada	Precisión absoluta	Coefficiente de temperatura
Todas	$\leq \pm 0,05\%$ d. intervalo	$\leq \pm 0,01\%$ d. intervalo/°C

5334V107-IN

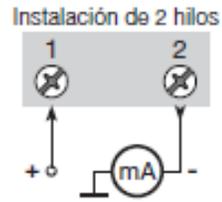
5

### CONEXIONES

Entrada:



Salida:



# Anexo 5: Ficha técnica Transmisor Pretop 5334.



## TRANSMISOR DE 2 HILOS PROGRAMABLE PReTrans 5333

- *Entrada RTD u Ohm*
- *Precisión en la medida alta*
- *Conexión 3 hilos*
- *Valor de error en el sensor programable*
- *Versión de 1 ó 2 canales*

### **Aplicación**

- Medida de temperatura linealizada con Pt100...Pt1000, Ni100...Ni1000.
- Conversión de la variación de la resistencia lineal a señal de corriente analógica estándar, por ejemplo de válvulas o sensores de nivel óhmicos.

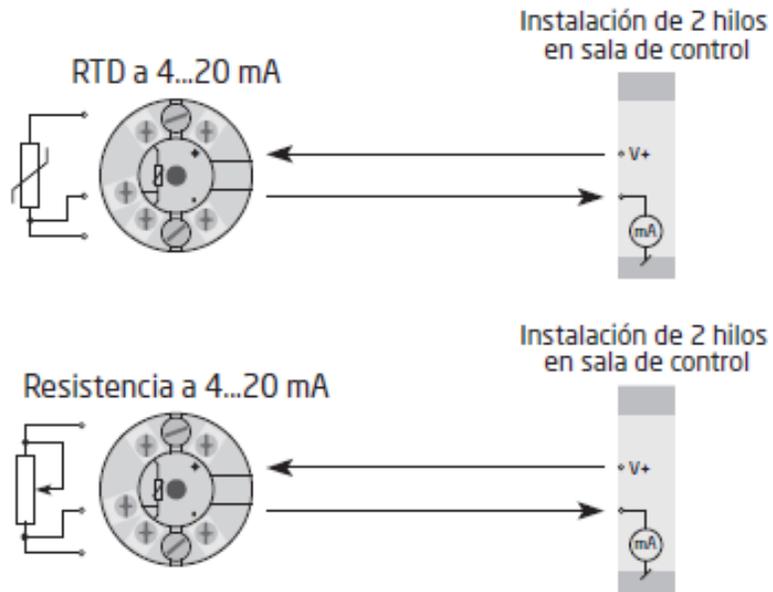
### **Características técnicas**

- En sólo unos pocos segundos el usuario puede programar PR5333 para medir temperaturas dentro de todos los rangos definidos por la normativa.
- Las entradas de resistencia y RTD tienen compensación de hilo para 3 hilos de conexión.

### **Montaje / instalación**

- Para cabezales de sensor DIN formato B. En áreas no peligrosas, el 5333 puede ser montado en carril DIN con el aplique PR tipo 8421.
- **NB:** Como barrera Ex para 5333D recomendamos el 5104B, 5114B ó 5116B.

### APLICACIONES



Pedido: 5333

Tipo	Versión
5333	Estándar : A CSA, FM, ATEX, IECEX & INMETRO : D

**Especificaciones eléctricas****Rango de especificaciones:**

-40°C a +85°C

**Especificaciones comunes:**

Voltaje de alimentación, CC

Estándar..... 8...35 VCC

CSA, FM, ATEX, IECEX &amp; INMETRO..... 8...30 VCC

Consumo interno..... 25 mW...0,8 W

Caída de tensión..... 8 VCC

Tiempo de calentamiento..... 5 min.

Interfase de comunicaciones..... Loop Link

Relación señal / ruido..... Mín. 60 dB

Tiempo de respuesta (programable)..... 0,33...60 s

Señal dinámica, entrada..... 19 bits

Señal dinámica, salida..... 16 bits

Temperatura de calibración..... 20...28°C

Precisión, la mayor de los valores generales y básicos:

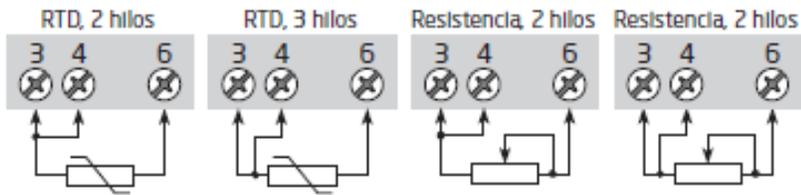
Valores generales		
Tipo de entrada	Precisión absoluta	Coficiente de temperature
Todas	$\leq \pm 0,1\%$ d. Intervalo	$\leq \pm 0,01\%$ d. Intervalo / °C

Valores básicos		
Tipo de entrada	Precisión básica	Coficiente de temperature
RTD	$\leq \pm 0,3^\circ\text{C}$	$\leq \pm 0,01^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$
Resistencia lln.	$\leq \pm 0,2 \Omega$	$\leq \pm 20 \text{ m}\Omega / ^\circ\text{C}$

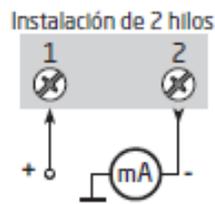
Influencia sobre la Inmunidad - EMC.....	$< \pm 0,5\%$ d. Intervalo
--	----------------------------

## CONEXIONES

### Entrada:



### Salida:



# Anexo 6: Guía Laboratorio Termistor

## GUIA TERMISTOR

Competencia a Desarrollar.

El estudiante al desarrollar la guía estará en capacidad de proponer y desarrollar sistemas gráficos por software, además de contribuir con su formación integral en el área de la ingeniería y aportando a las materias comprendidas de circuitos, instrumentación y control.

Guía Número:	<b>1</b>
Área(s) /Asignaturas donde puede aplicar la guía:	(Instrumentación control y automatización)

### 1. OBJETIVOS

**Objetivo General:** Acondicionar la señal de salida de corriente a voltaje de un sensor de temperatura del tipo termistor y caracterizar con la interfaz labview.

**Objetivos Específicos:**

- *Implementar un montaje que permita convertir una señal de corriente en voltaje.*
- *Efectuar pruebas y mediciones de las señales de salida del termistor.*
- *Verificar las variaciones en voltaje de la salida acondicionada del termistor, dependiendo de la temperatura con la que se excite el sensor.*
- *Desarrollar una interfaz gráfica que permita observar los cambios de temperatura del sensor.*
- *Comparar los datos visualizados en la interfaz gráfica (software), contra las mediciones obtenidas en el hardware implementado.*

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Historia

El termistor fue inventado en 1930 por el estadounidense Samuel Rubén, y se lo define como un dispositivo electrónico semiconductor de dos terminales cuya resistividad depende fuertemente de la temperatura de manera no lineal, El término termistor proviene de Thermally Sensitive Resistor.

## 2.2. Funcionamiento

El funcionamiento del termistor se basa en la variación de la resistencia que presenta un semiconductor con la temperatura, debido al cambio de la concentración de portadores. El cambio de temperatura puede provenir del exterior o puede resultar del paso de la corriente por el mismo (autocalentable), esta propiedad es la que da lugar a la alinealidad que lo caracteriza. Se puede emplear tanto en circuitos de continua como de alterna. Existen dos clases de termistores dependiendo del signo de  $k$  de la ecuación: Los NTC y los PTC.

Para los termistores NTC, al aumentar la temperatura, aumentará también la concentración de portadores, por lo que la resistencia será menor, de ahí que el coeficiente sea negativo. Para los termistores PTC, en el caso de un semiconductor con un dopado muy intenso, éste adquirirá propiedades metálicas, tomando un coeficiente positivo en un margen de temperatura limitado.

Asumiendo una primera aproximación lineal entre resistividad y temperatura obtenemos la siguiente ecuación:

$$\Delta R = k\Delta T \text{ (Ecuación 1).}$$

Dónde:

$\Delta R$  Es el cambio en la resistencia del material,

$\Delta T$  El cambio en la temperatura

$k$  el coeficiente de temperatura de primer orden.

Existen dos clases de termistores dependiendo del signo de  $k$  de la ecuación 1: Los NTC y los PTC.

## 2.3. Clases de termistor

Existen dos tipos de termistores (Figura 1), dependiendo de si su coeficiente de temperatura es negativo o positivo. Si es negativo se denominan NTC (Negative Temperature Coefficient) – coeficiente de temperatura negativo, (los cuales se fabrican a base de mezclar y sinterizar óxidos dopados de metales como el níquel, cobalto, manganeso, hierro y cobre), y si es positivo se denominan PTC (Positive Temperature Coefficient) – coeficiente de temperatura positivo, (basadas en titanato de bario al que se añade titanato de plomo o de circonio para determinar la temperatura de conmutación). Cuando la temperatura aumenta, los tipo PTC aumentan su resistencia y los NTC la disminuyen.

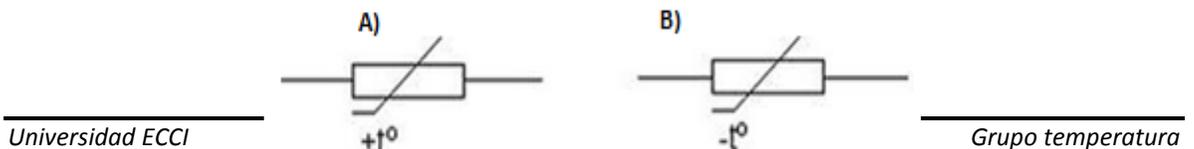


Figura 1. A) Símbolo PTC B) Símbolo NTC

Tanto los termistores tipo PTC como los NTC presentan características no lineales entre temperatura y resistividad. En la figura 2 se muestran dichas curvas y también se incluye la respuesta de una resistencia de platino a modo de contrastación, la cual su relación resistividad-temperatura es sumamente lineal.

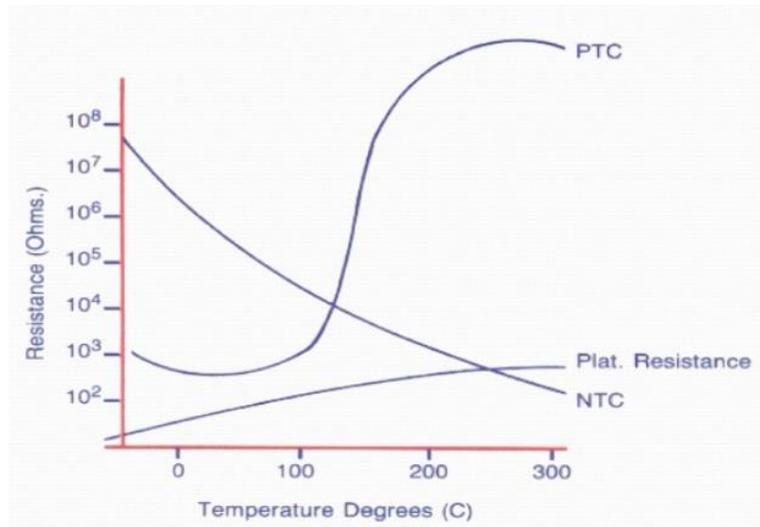


Figura 2. Curvas características de la resistividad en función de la temperatura para dispositivos NTC, PTC y el platino.

Ejemplo 1: La resistencia de un termistor típico varía 156 ohm de  $0^\circ\text{C}$  a  $1^\circ\text{C}$ , mientras la del platino varía tan solo 0.385 ohm.

## 2.4. Termistores NTC

Este tipo de termistores tienen un coeficiente de temperatura negativo por lo que disminuyen fuertemente su resistividad a medida que aumenta la temperatura. Este fenómeno se debe a que los materiales con que se construyen los NTC son tipo N, por lo tanto sus portadores mayoritarios son electrones. Al aumentar la temperatura, mayor cantidad de electrones se desprenden de sus enlaces covalentes aumentando la conductividad del material y por ende bajando su resistividad.

## 2.5. Termistores PTC

Este tipo de termistores son dopados intensamente adquiriendo propiedades metálicas, tomando un coeficiente de temperatura positivo, por lo tanto al aumentar su temperatura también aumentará su resistencia. No todos los PTC se comportan de esta manera en todo el rango de temperaturas, de hecho la mayoría de estos dispositivos (tipo switch) presentan zonas de comportamiento similar a los NTC, es decir con coeficiente de temperatura negativo como muestra la figura 2 para temperaturas inferiores a los 50°C aproximadamente.

Esta temperatura se denomina punto de Curie y varía según los distintos fabricantes, es un dato técnico que el fabricante proporciona en su hoja de datos. Básicamente existen dos tipos de termistores PTC, los de tipo switch y los de tipo silistores.

## 2.5. Características principales

1. La gran ventaja del mismo con respecto a sus homólogos (termocupla, RTD) es su alta sensibilidad que los hace extremadamente susceptibles a los cambios de temperatura, por lo que se puede medir la temperatura a la que esté sometido con buena precisión.
2. Tienen mejores tiempos de respuesta a los cambios de temperatura
3. La desventaja de este con otros dispositivos, es su rango de temperatura limitado, comúnmente está entre -50°C y 150°C, aunque las unidades encapsuladas pueden alcanzar hasta los 300°C.
4. Los rangos de resistividad del termistor varían en el orden de los 100Ω hasta KΩ , en la mayoría de las aplicaciones para una temperatura de 25°C la resistencia varía entre 100 Ω y 100 KΩ
5. Gracias a la intercambiabilidad (tolerancia con la que es producido un termistor), es posible cambiar un termistor por otro en un sistema, sin necesidad de volver a calibrar el aparato de medida.

### 3. MATERIALES Y EQUIPOS

2 Fuentes de voltaje (24VDC variable)

Multímetros

Protoboard

Termistor

Transmisor de 2 hilos Pretop 5333

Tarjeta de Adquisición NI 6008

Software Labview

### 4. PROCEDIMIENTO

Se implementó en una protoboard un conversor corriente a voltaje para observar la variación de voltaje y temperatura en la interfaz gráfica; tener en cuenta las conexiones que se observan en el diagrama.

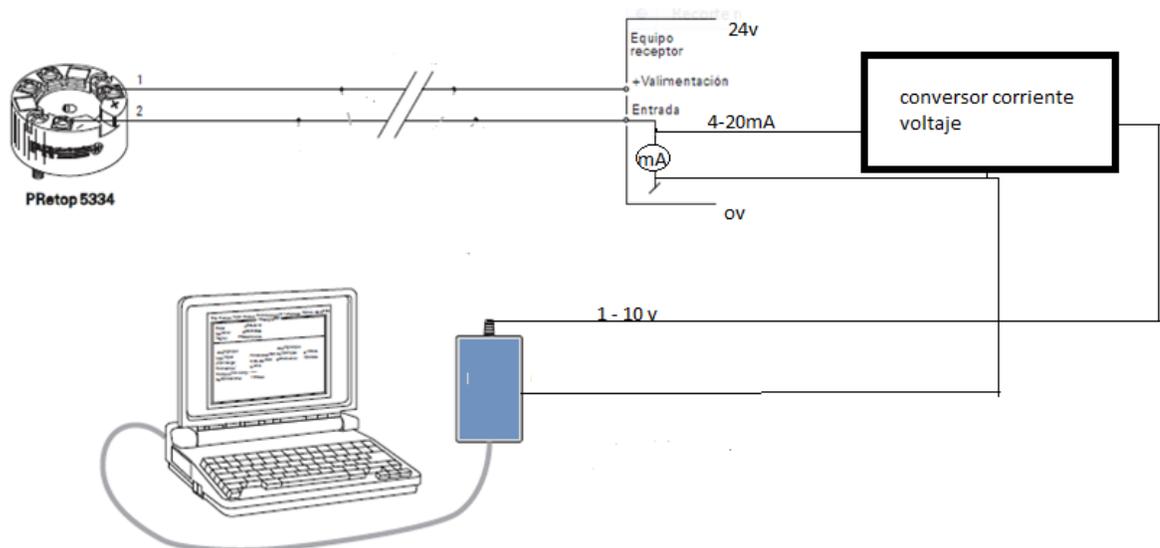


Figura 3. Diagrama de la implementación

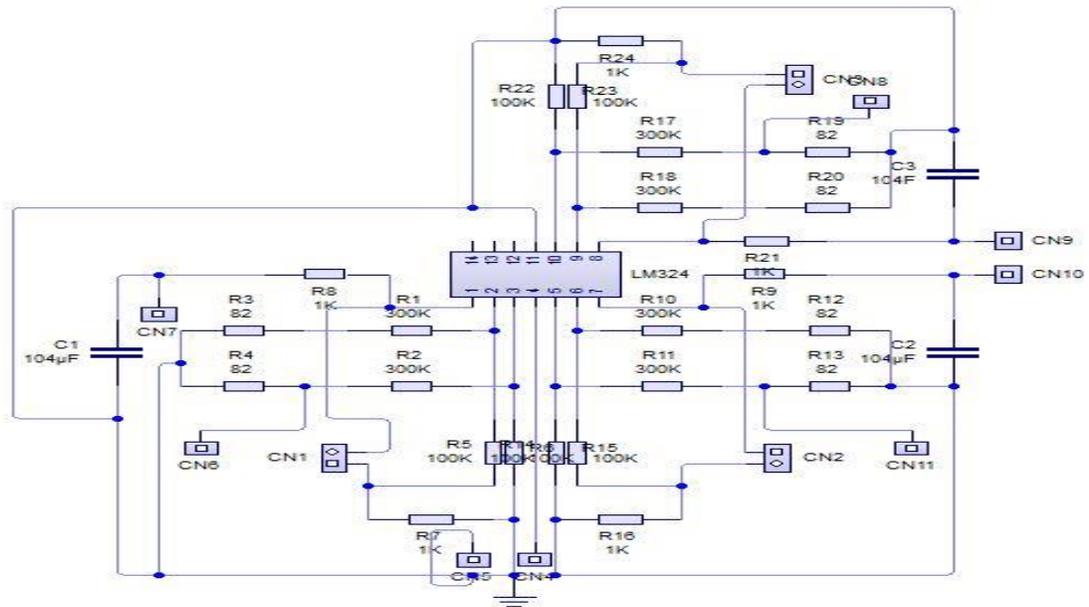
Convertor de corriente a voltaje

Figura 4 Convertor corriente a voltaje

**Preguntas**

Realizar mediciones a la salida del transmisor y observar el cambio de corriente con respecto al cambio de temperatura.

Realizar mediciones a la salida del convertor de corriente a voltaje y observar el cambio entre temperatura y voltaje

De acuerdo con los resultados obtenidos, la respuesta en el software de simulación, es congruente con las mediciones ya realizadas, ¿Sí? ¿No? Justifique

1. ¿Según las mediciones obtenidas a cuántos miliamperios equivale la variación de 1 grado de temperatura?
2. ¿Según las mediciones obtenidas a cuántos voltios equivale la variación de 1 grado de temperatura?
3. ¿Dependiendo de la temperatura varia el rango de corriente o voltaje entre un grado u otro o se mantiene constante?

El error del termistor está en el rango de lo estipulado por el fabricante tomando un patrón de medida como punto de referencia, "termocupla"

Realizar un cuadro comparativo entre Temperatura vs. Voltaje y Temperatura vs. Corriente, graficar los datos obtenidos

RTA

TEMPERATURA	VOLTAJE	CORRIENTE
0		
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		
90		
100		

Tabla No. 1 Temperatura vs voltaje y corriente

- Ejemplo Gráficos

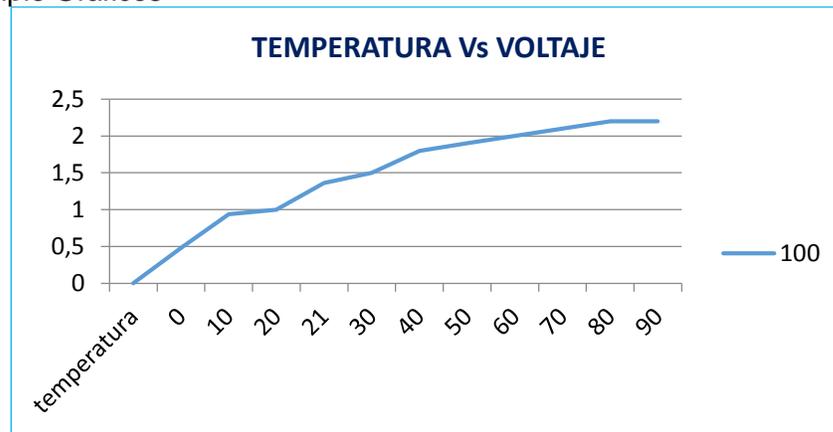


Figura 5 Grafico ejemplo Temperatura vs voltaje

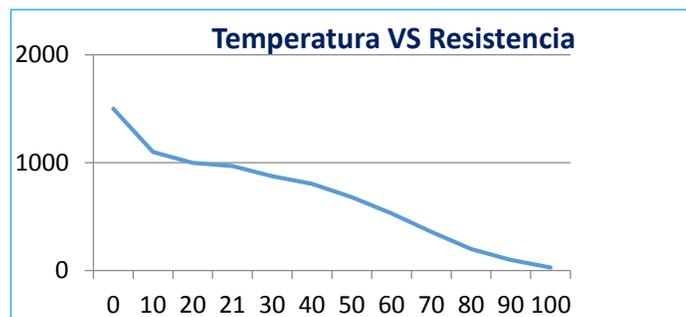


Figura 6 Grafico ejemplo Temperatura vs Resistencia

## 5. Conclusiones y Observaciones

- Se observa que a medida que aumenta la temperatura la resistencia interna del termistor va disminuyendo de una forma lineal esto para un termistor NTC
- Al aumentar la temperatura del termistor se observa un cambio en 0.1 voltios por cada grado centígrado.
- La comparación de medidas entre hardware y software son lineales y no hay variación entre las dos medidas.
- Para la creación de la interfaz gráfica se tuvo que seguir ciertas recomendaciones sugeridas por el fabricante de NI, el cual indica que el voltaje a la entrada de la tarjeta no debe superar los 10 voltios.

## 6. REFERENCIAS

- Boylestad, R. (2003). Electrónica: teoría de Circuitos. México D.F.: Prentice Hall.
- [http://acohailab.webcindario.com/files/LABORATORIO\\_Instrumentacion\\_No3\\_ER.pdf](http://acohailab.webcindario.com/files/LABORATORIO_Instrumentacion_No3_ER.pdf)
- <http://www.slideshare.net/joselin33/termistores>
- <http://redined.mecd.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/74676/00820073008206.pdf?sequence=1>
- [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termistores1.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termistores1.htm)
- [https://www.google.com.mx/search?sourceid=navclient&hl=es&ie=UTF-8&rlz=1T4TSNS\\_esCO498CO499&q=caracteristicas+principales+del+termistor](https://www.google.com.mx/search?sourceid=navclient&hl=es&ie=UTF-8&rlz=1T4TSNS_esCO498CO499&q=caracteristicas+principales+del+termistor)

# Anexo 7: Guía Laboratorio Termopar

## GUIA TERMOPAR

Competencia a Desarrollar.

El estudiante al desarrollar la guía estará en capacidad de comprender el funcionamiento de una termocupla o termopar, desarrollar habilidades para la adquisición de datos y análisis de resultados además de proponer y desarrollar una interfaz gráfica para observar la medida de temperatura con el sensor.

### 1. Objetivos

Guía Número:	<b>2</b>
Área(s) /Asignaturas donde puede aplicar la guía:	<b>Instrumentación, Automatización y Control</b>

**Objetivo General:** Caracterizar y acondicionar la señal de un termopar para verificar su comportamiento en un sistema de adquisición de datos como Labview.

#### Objetivos Específicos:

- Determinar el funcionamiento del sensor de temperatura termopar Tipo K.
- Realizar el acondicionamiento de la señal provista por el sensor (Convertor de corriente a voltaje).
- Caracterizar el funcionamiento del sensor basado en variaciones de temperatura y variaciones de voltaje.
- Comparar resultados de las mediciones con un termómetro patrón.
- Obtener la señal análoga de salida en el osciloscopio.
- Desarrollar una interfaz gráfica en Labview para transferir los datos de temperatura medida hacia objetivos de visualización y análisis.

## 2. Marco Teórico

El termopar se basa en el efecto descubierto por Seebeck en 1821, de la circulación de una corriente en un circuito cerrado formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura.

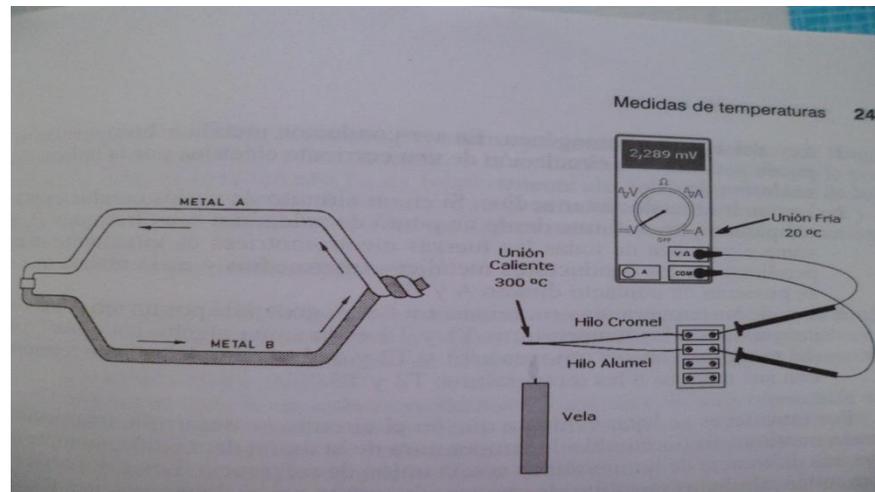


Figura 1 - Termopar

Esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier (año 1834), que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de los metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto Thomson (año 1854) que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en que existe un gradiente de temperaturas.

Una termocupla se crea siempre que dos metales diferentes se tocan y el punto de contacto produce un pequeño voltaje en circuito abierto como una función de la temperatura. Este voltaje termoeléctrico no es lineal con respecto a la temperatura. Sin embargo, para pequeños cambios en temperatura, el voltaje es aproximadamente lineal, es decir

$$\Delta V = S \Delta T \quad (1)$$

Donde  $\Delta V$  es el cambio en el voltaje,  $S$  es el coeficiente de Seebeck y  $dT$  es el cambio en la temperatura.

**Aplicaciones**

- El termopar tipo K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.

**3. Materiales y Equipos**

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Termopar Tipo K	Fuente de voltaje directo
Transmisor de 2 hilos Pretop 5334	Multímetro
Circuito Conversor Corriente a Voltaje	Osciloscopio
Protoboard	Tarjeta de Adquisición NI 6008
Conectores	Software Labview
	Termómetro Patrón

Tabla 1 – Materiales y Equipos

**4. Procedimiento**

Según previas instrucciones del docente, el estudiante deberá seguir el desarrollo de la guía siguiente manera:

*Condiciones Iniciales:*

1. El Tanque No.3 debe estar lleno a un nivel adecuado.
2. La resistencia que calentara el líquido debe estar conectada correctamente.
3. Verificar que el agitador esté debidamente ubicado en el Tanque No. 3 y conectado a la fuente de alimentación.

**Desarrollo de la Guía**

1. Identificar el termopar tipo K en el Tanque No. 3



*Figura 2 – Ubicación Sensor en el Tanque*

2. En el cabezote del termopar, verificar que el transmisor esté conectado:



*Figura 3 – Conexión Sensor al transmisor*

3. Reconocer la configuración de pines del transmisor (polarización + y -, conexión del termopar y señal de salida)

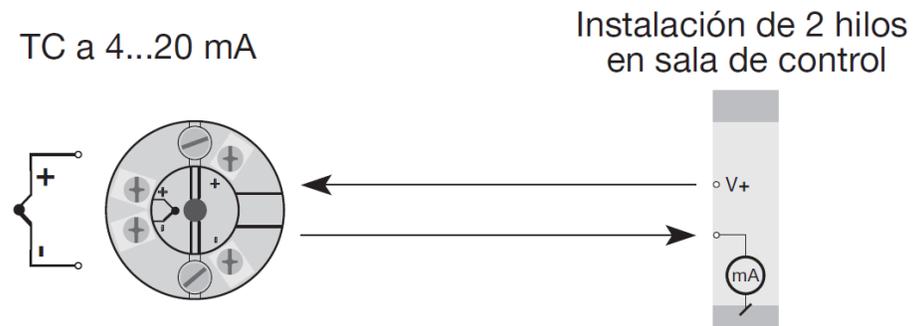


Figura 3 – Diagrama de bloque Conexión Sensor al transmisor

4. Como el transmisor a la salida entrega una señal de 4 a 20 mA, es necesario realizar pruebas a diferentes temperaturas para verificar que la temperatura corresponda con la corriente del transmisor.

<b>Temperatura</b>	<b>Corriente mA</b>
0 °C	
10 °C	
20 °C	
Temperatura Ambiente	
30 °C	
40 °C	
50 °C	
60 °C	
70 °C	
80 °C	
90 °C	
100 °C	

Tabla 2 – Temperatura vs. Corriente

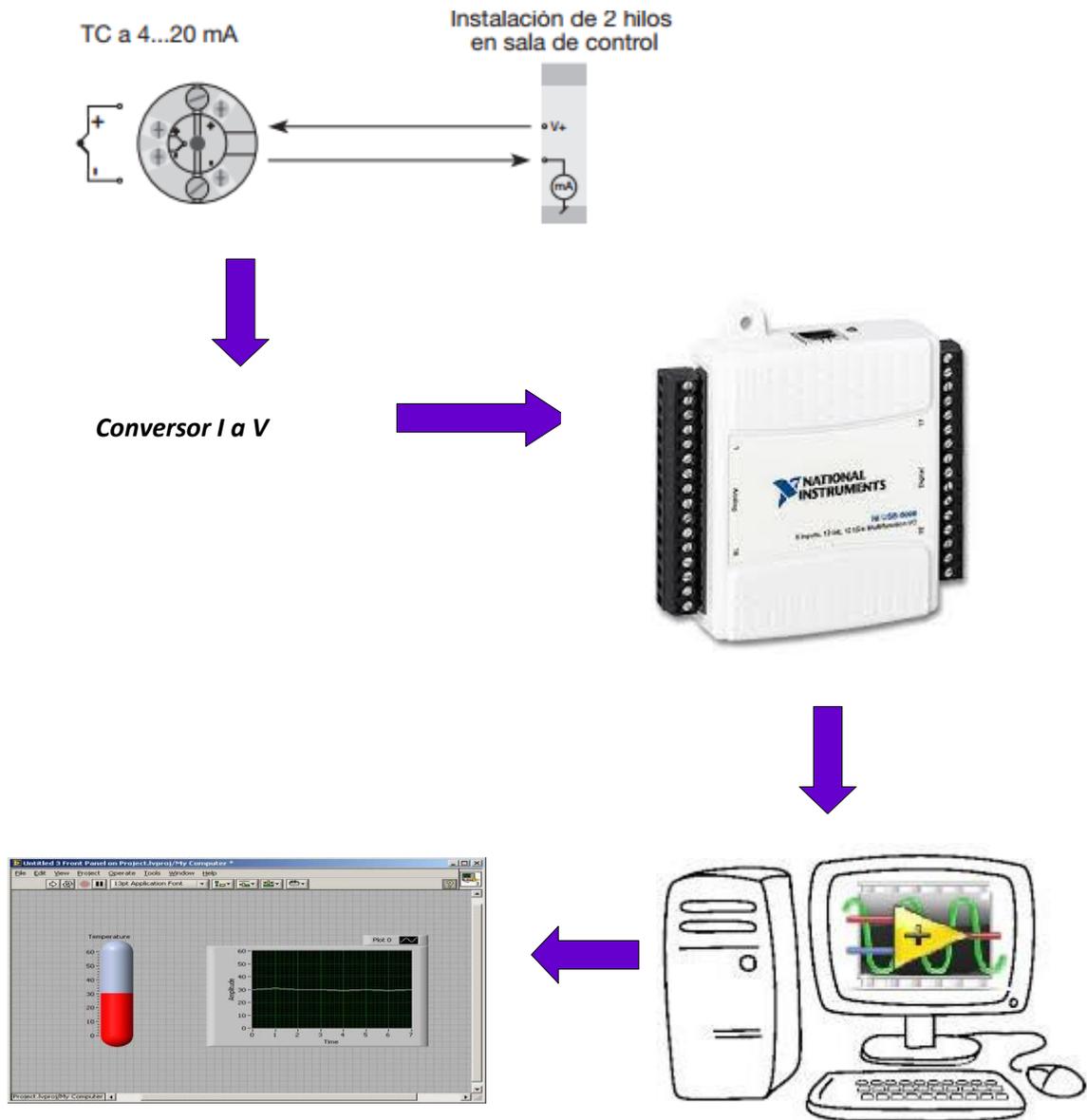
5. Para realizar pruebas con la Tarjeta de Adquisición NI 6008 es necesario realizar un circuito para convertir corriente a voltaje.
6. Para aumentar la temperatura del sensor, activar la resistencia que se encuentran ubicada en el interior del tanque No. 3, enseguida encender el agitador para distribuir la temperatura en todo el líquido que está contenido en el tanque.
7. Observar el comportamiento de la señal de salida del sensor, realizar la medición con multímetro y osciloscopio.
8. Realizar pruebas de 0° C a 100 °C (punto de ebullición del agua), realizar las medidas con el sensor y obtener el nivel de voltaje de salida del sensor.
9. Tabular la información de temperatura vs. Voltaje y temperatura vs. Corriente.

<i>Temperatura</i>	<i>Voltaje</i>	<i>Corriente mA</i>
0 °C		
10 °C		
20 °C		
Temperatura Ambiente		
30 °C		
40 °C		
50 °C		
60 °C		
70 °C		
80 °C		
90 °C		
100 °C		

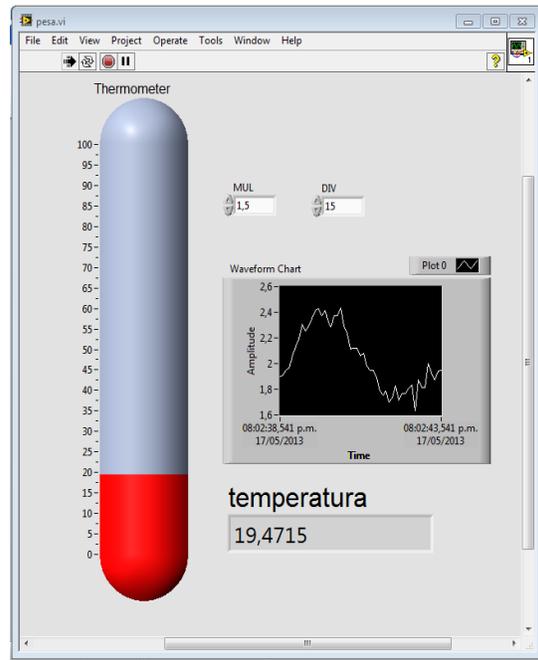
*Tabla 3 – Temperatura vs. Voltaje vs. Corriente*

10. Utilizar el VI realizado en Labview para realizar la medición de temperatura en el intervalo de 0 °C a 100° C

**Transmisor de Temperatura**



## Interfaz Gráfica



## 4. Informe

Para realizar el informe de la práctica se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

1. Definir los objetivos
2. Describir de forma breve el procedimiento que se llevó a cabo
3. Plantear los cálculos realizados para la implementación de los circuitos propuestos
4. Consolidar la toma de medidas en tablas de tabulación y comparación.
5. Graficas de temperatura vs. voltaje, voltaje vs. resistencia, temperatura vs. Resistencia
6. Análisis de resultados
7. Conclusiones

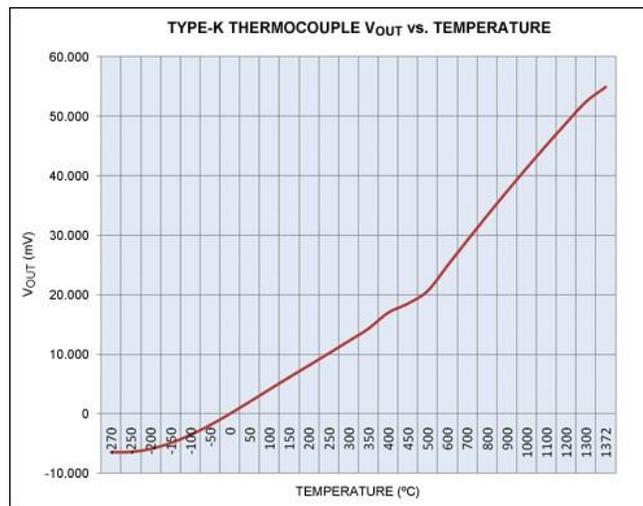
A continuación se muestra un ejemplo de los ítems planteados:

## Preguntas

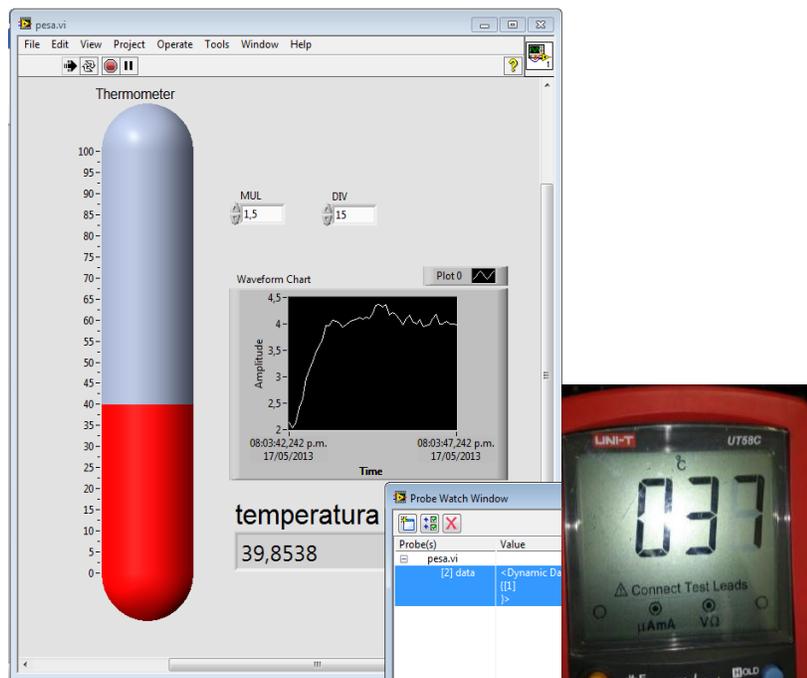
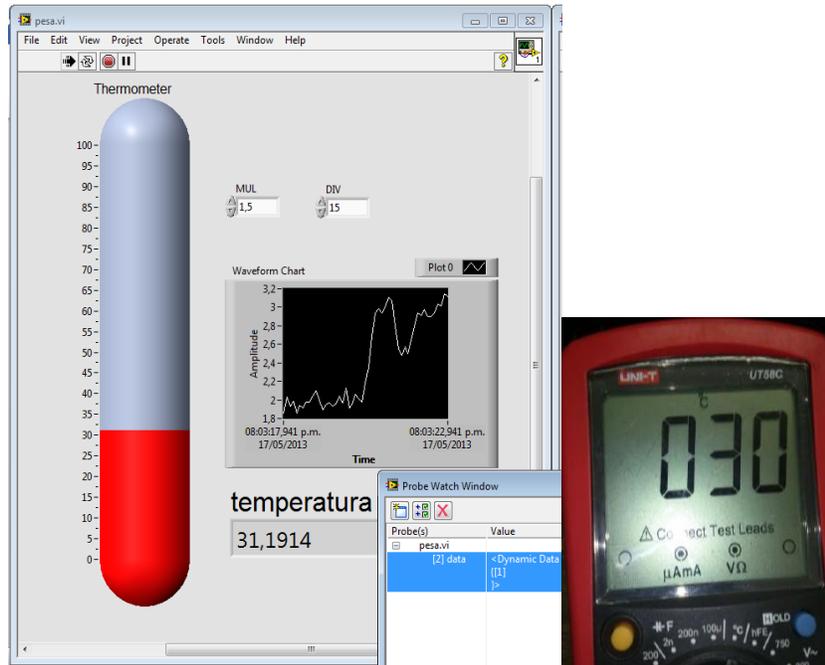
Ejemplo:

1. De acuerdo con los resultados obtenidos y lo observado en la interfaz gráfica ¿Cuál circuito implementado ofrece una respuesta más lineal y confiable a la salida? Justifique su respuesta con cálculos y a partir de los conceptos teóricos estudiados.
2. Cual fue la variación de la temperatura por cada °C al aumentar la temperatura del líquido contenido en el tanque No. 3.
3. Los datos registrados por el multímetro concuerdan con lo que se observó en la interfaz gráfica de Labview.

## Gráficos



### 5. Resultados



## 6. Referencias

- CREUS, Antonio. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL. pág. 246. 7<sup>a</sup> Edición. Alfaomega.
- Como realizar una Medición con termopares. National Instruments <http://www.ni.com/white-paper/7108/es/>
- Conversor Análogo Digital- <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/rcv420.pdf>
- <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>.

# Anexo 7: Guía de Laboratorio RTD

## GUIA RTD

Competencia a Desarrollar.

El estudiante al desarrollar la guía estará en capacidad de proponer y desarrollar sistemas gráficos por software, además de contribuir con su formación integral en el área de la ingeniería y aportando a las materias comprendidas de circuitos, instrumentación y control.

<b>Guía Número:</b>	<b>3</b>
<b>Área(s) /Asignaturas donde puede aplicar la guía:</b>	<b>(Instrumentación control y automatización)</b>

### 1. OBJETIVOS

**Objetivo General:** Acondicionar la señal de salida de corriente a voltaje de un sensor de temperatura del tipo RTD (PT100) y caracterizar con la interfaz labview.

#### Objetivos Específicos:

- Determinar el comportamiento de sensor de temperatura RTD (PT100)
- Realizar pruebas y mediciones de las señales de salida del RTD (PT100).
- Verificar las variaciones en voltaje de la salida acondicionada del RTD (PT100), dependiendo de la temperatura con la que se excite el sensor.
- Desarrollar una interfaz gráfica que permita observar los cambios de temperatura del sensor.
- Comparar los datos mostrados en la interfaz gráfica (software), contra las mediciones obtenidas en el hardware implementado.
- Que el alumno conozca e implemente un circuito conversor de corriente a voltaje el cual le permita visualizar el comportamiento de un sensor de temperatura tipo termistor

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Definición

Un **RTD** (del inglés: *Resistance Temperature detector*) es un **detector de temperatura resistivo**, es decir, un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Su símbolo es el siguiente, en el que se indica una variación lineal con coeficiente de temperatura positivo.

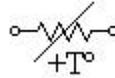


Figura 1 Símbolo RTD

Al calentarse un metal habrá una mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones y reduciéndose su velocidad media, aumentando la resistencia. A mayor temperatura, mayor agitación, y mayor resistencia.

La variación de la resistencia puede ser expresada de manera polinómica como sigue a continuación. Por lo general, la variación es bastante lineal en márgenes amplios de temperatura.

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Dónde:

$R_0$  es la resistencia a la temperatura de referencia  $T_0$

$\Delta T$  es la desviación de temperatura respecto a  $T_0$  ( $\Delta T = T - T_0$ )

$\alpha$  es el coeficiente de temperatura del conductor especificado a 0 °C, interesa que sea de gran valor y constante con la temperatura

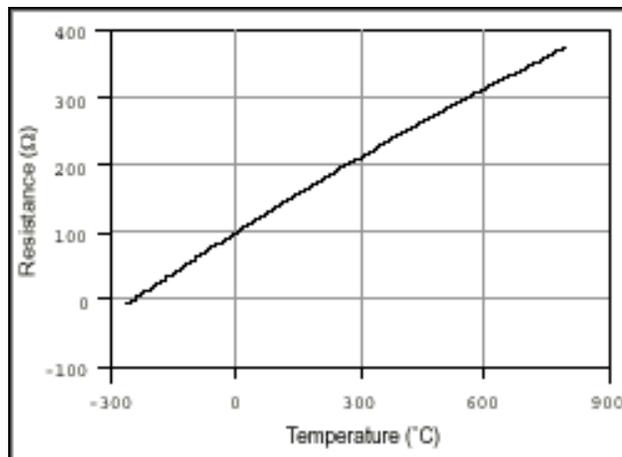


Figura 2. COMPORTAMIENTO IDEAL RTD PT100

## 2.2. Construcción

Los materiales empleados para la construcción de sensores RTD suelen ser conductores tales como el cobre, el níquel o el platino. Las propiedades de algunos de éstos se muestran en la siguiente tabla:

Parámetro	Platino (Pt)	Cobre (Cu)	Níquel (Ni)	Molibdeno (Mo)
Resistividad ( $\mu\Omega cm$ )	10.6	1.673	6.844	5.7
$\alpha(\Omega/\Omega/K)$	0.00385	0.0043	0.00681	0.003786
$R_0(\Omega)$	25, 50, 100, 200	10	50, 100, 120	100, 200, 500
margen ( $^{\circ}C$ )	-200 a +850	-200 a +260	-80 a +230	-200 a +200

Tabla 1. Propiedades de conductores

De todos ellos es el platino el que ofrece mejores prestaciones, como:

Alta resistividad para un mismo valor óhmico, la masa del sensor será menor, por lo que la respuesta será más rápida margen de temperatura mayor alta linealidad sin embargo, su sensibilidad ( $\alpha$ ) es menor.

Un sensor muy común es el Pt100 (RTD de platino con  $R=100\ \Omega$  a  $0\ ^{\circ}C$ ). En la siguiente tabla se muestran valores estándar de resistencia a distintas temperaturas para un sensor Pt100 con  $\alpha = 0.00385K^{-1}$ .

<b>Temperatura (°C)</b>	0	20	40	60	80	100
<b>Resistencia (<math>\Omega</math>)</b>	100	107.79	115.54	123.24	130.87	138.50

Tabla 2. Resistencia estándar de PT100

### 2.3. Ventajas

- Un margen de temperatura bastante amplio.
- Proporciona las medidas de temperatura con mayor exactitud y repetitividad.
- El valor de resistencia del RTD puede ser ajustado con gran exactitud por el fabricante (trimming), de manera que su tolerancia sea mínima. Además, éste será bastante estable con el tiempo.
- Los RTD son los más estables con el tiempo, presentando derivas en la medida del orden de 0.1 °C/año.
- La relación entre la temperatura y la resistencia es la más lineal.
- Los sensores RTD tienen una sensibilidad mayor que los termopares. La tensión debida a cambios de temperatura puede ser unas diez veces mayor.
- La existencia de curvas de calibración estándar para los distintos tipos de sensores RTD (según el material conductor,  $R_0$  y  $\alpha$ ), facilita la posibilidad de intercambiar sensores entre distintos fabricantes.
- A diferencia de los termopares, no son necesarios cables de interconexión especiales ni compensación de la unión de referencia.

### 2.4. Desventajas

- Dado que el platino y el resto de materiales conductores tienen todos una resistividad muy baja, para conseguir un valor significativo de resistencia será necesario devanar un hilo de conductor bastante largo, por lo que, sumando el elevado coste de por sí de estos materiales, el coste de un sensor RTD será mayor que el de un termopar o un termistor.
- El tamaño y la masa de un RTD será también mayor que el de un termopar o un termistor, limitando además su velocidad de reacción.
- Los RTD se ven afectados por el auto calentamiento.
- Los RTD no son tan durables como los termopares ante vibraciones, golpes.

### 2.7. Aplicaciones

En definitiva, los RTD son los más apropiados para aplicaciones en las que la exactitud de la medida es crítica mientras que la velocidad y el costo son menos importantes.

## 2.8. Métodos de medición

Para la determinación del valor de la resistencia, es de tipo metálico o semiconductor, se pueden utilizar tres tipos diferentes de montaje. El procedimiento más sensible y de mayor precisión es el de tipo potenciométrico que utiliza dos fuentes de alimentación de corriente estabilizada para alimentar las dos ramas del potenciómetro. En serie con la resistencia a determinar se conecta una resistencia de precisión conocida previamente. Este método es el más preciso de los que vamos a describir porque es un método de cero, con lo que la medida realizada elimina los errores que puedan introducir los conductores de conexión al sensor de platino, pero para ello es necesario que esta resistencia tenga conectados cuatro hilos, dos para la corriente y dos para la lectura de tensión.

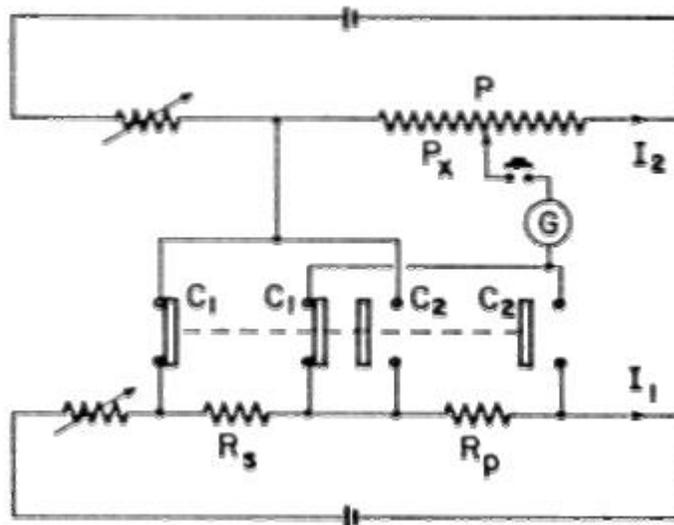


Figura 3. Metodo potenciométrico de medida de la resistencia  $R_s$  de un termómetro de Pt100

El segundo procedimiento para realizar esta medida, y también el que iría en segundo lugar en cuanto a precisión, sería el método de medida de resistencias con el puente de Wheatstone, utilizando resistencias de dos, tres o cuatro hilos.

- **Montaje de dos hilos**

La sonda de resistencia se conecta a uno de los brazos del puente. Es el montaje más sencillo, pero presenta el inconveniente de que la resistencia de los hilos a y b de conexión de la sonda al puente varía cuando cambia la temperatura y esta variación falsea por los tanto la indicación de temperatura; aunque estos hilos sean de baja resistencia y esta sea conocida, las longitudes que

puede haber en entre la sonda y el panel donde esté el instrumento receptor, añaden una gran resistencia al brazo de la sonda.

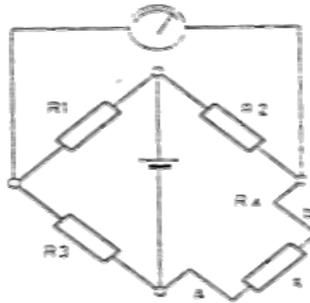


Figura 4 Montaje de dos hilos

- **Montaje de tres hilos**

Es el más utilizado en la práctica. En este circuito la sonda está conectada mediante tres hilos al puente. De este modo, la medida no es afectada por la longitud de los conductores ni por la temperatura ya que esta influye a la vez en dos brazos adyacentes del puente, siendo la única condición que la resistencia de los hilos a y b sea exactamente la misma.

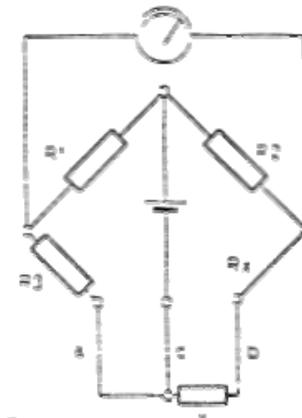


Figura 5. Montaje de tres hilos

- **Montaje de cuatro hilos**

Se utiliza para obtener la mayor precisión posible en la medida como es el caso de calibración de patrones de resistencia en laboratorio. Se basa en efectuar dos mediciones de la resistencia de la sonda combinando las conexiones de modo tal que la sonda pase de un brazo del puente al adyacente. De este modo se compensan las resistencias desiguales de los hilos de conexión.

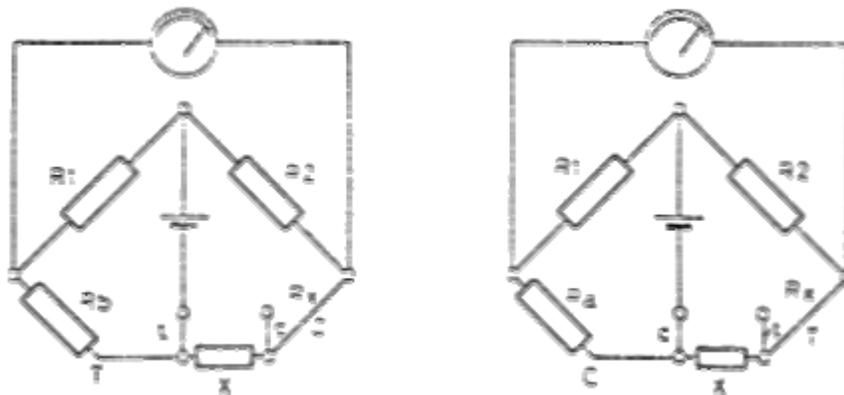


Figura 6. Montaje de cuatro hilos

### 3. MATERIALES Y EQUIPOS

- 2 Fuentes de voltaje (24v dc variable)
- Multímetros
- Protoboard
- Sensor temperatura tipo RTD (PT100)
- Transmisor de 2 hilos Pretop 5334
- Tarjeta de Adquisición NI 6008
- Software Labview

### 4. PROCEDIMIENTO

Implemente en protoboard un conversor corriente a voltaje para observar la variación de voltaje y temperatura en la interfaz gráfica; tener en cuenta las conexiones que se observan en el diagrama.

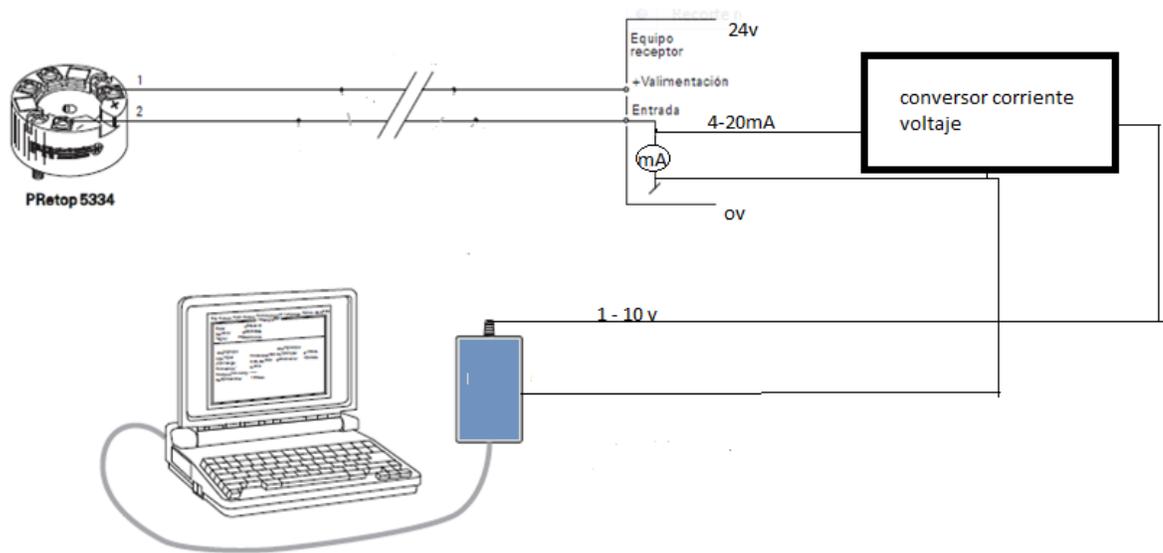


Figura 7. Diagrama implementación

**Convertidor de corriente a voltaje**

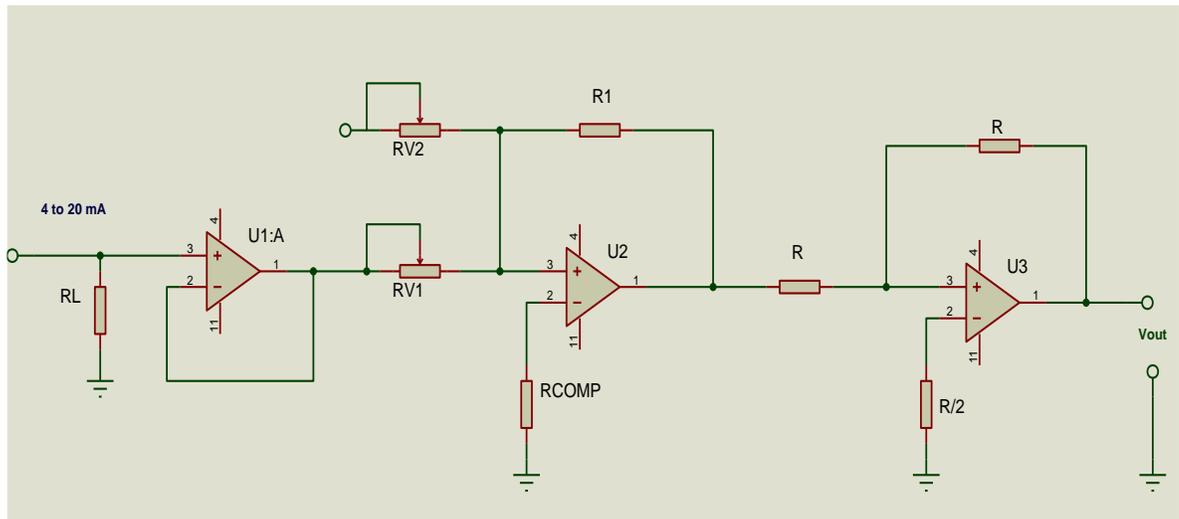


Figura 8 Convertor corriente a voltaje

**Características del transmisor**

**TRANSMISOR DE 2 HILOS PROGRAMABLE  
PRETOP 5334**

- *Entrada TC*
- *Precisión en la medida alta*
- *Aislamiento galvánico*
- *Valor de error en el sensor programable*
- *Montaje sobre cabezales DIN form. B*

**Aplicación**

- Medida de temperatura linealizada con sensor termopar.
- Amplificación de señales de mV bipolares a señales de 4...20 mA, opcionalmente linealizadas de acuerdo a la función de linealización definida.

*Figura 9 Características del transmisor*

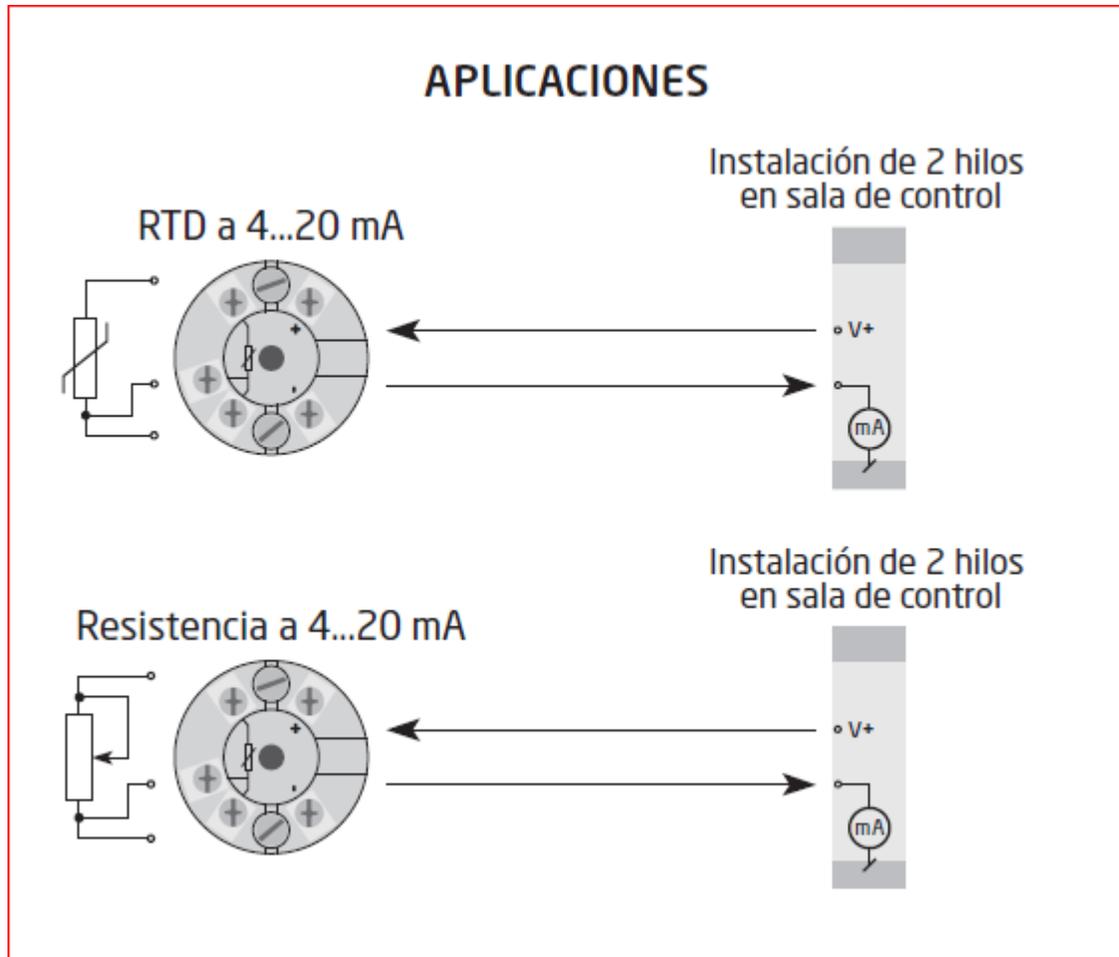
**Aplicaciones y modo de conexión**

Figura 10 Modo de conexión

**5. INFORME****Preguntas**

Realizar mediciones a la salida del transmisor y observar el cambio de corriente con respecto al cambio de temperatura.

Realizar mediciones a la salida del conversor de corriente a voltaje y observar el cambio entre temperatura y voltaje

De acuerdo con los resultados obtenidos, la respuesta en el software de simulación, es congruente con las mediciones ya realizadas, ¿Sí? ¿No? Justifique

¿Según las mediciones obtenidas a cuantos miliamperios equivale la variación de 1 grado de temperatura?

¿Según las mediciones obtenidas a cuantos voltios equivale la variación de 1 grado de temperatura?

¿Dependiendo de la temperatura varia el rango de corriente o voltaje entre un grado u otro o se mantiene constante?

El error del sensor de temperatura RTD (PT100) está en el rango de lo estipulado por el fabricante tomando un patrón de medida como punto de referencia, "termopar"

Realizar un cuadro comparativo entre Temperatura vs. Voltaje y Temperatura vs. Corriente, graficar los datos obtenidos

RTA/

TEMPERATURA	VOLTAJE	CORRIENTE
0		
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		
90		
100		

Tabla 3. Datos Temperatura vs voltaje y corriente

## 6. CONCLUSIÓN

Para la creación de la interfaz gráfica se tuvo que seguir ciertas recomendaciones sugeridas por el fabricante de NI, el cual indica que el voltaje a la entrada de la tarjeta no debe superar los 10 voltios.

## 7. REFERENCIAS

- [https://www.epsem.upc.edu/escola/departaments/fisica-aplicada/documents/fona\\_fisic\\_eng2/robleff2electro/termistor.pdf](https://www.epsem.upc.edu/escola/departaments/fisica-aplicada/documents/fona_fisic_eng2/robleff2electro/termistor.pdf)
- <http://ingeniatic.euitt.upm.es/index.php/tecnologias/item/588-sensores-de-temperatura-rtd>