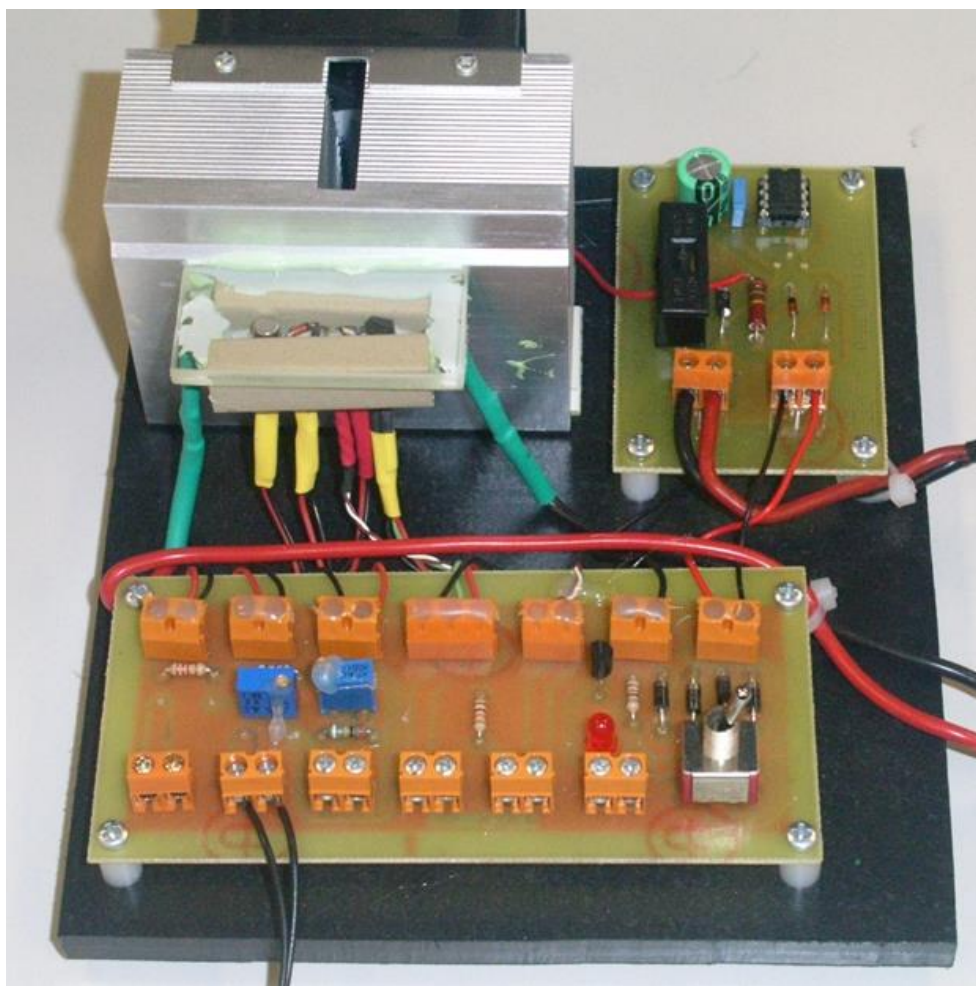


Sensores Térmicos



Sensores Térmicos

1.- INTRODUCCIÓN.

2.- DESARROLLO TEÓRICO.

2.1.- ESPECIFICACIONES DE LOS SENSORES

2.2.- DISEÑO DE LOS ACONDICIONADORES

3.- DESARROLLO PRÁCTICO.

3.1.- CARACTERIZACIÓN DEL TRANSDUCTOR.

3.2.- ACONDICIONADORES DE SEÑAL.

3.2.1- AJUSTE DEL ACONDICIONADOR CON TERMOPAR

3.2.2- AJUSTE DEL ACONDICIONADOR CON Pt100

3.2.3- MEDIDA DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN

4.- ESPECIFICACIONES.

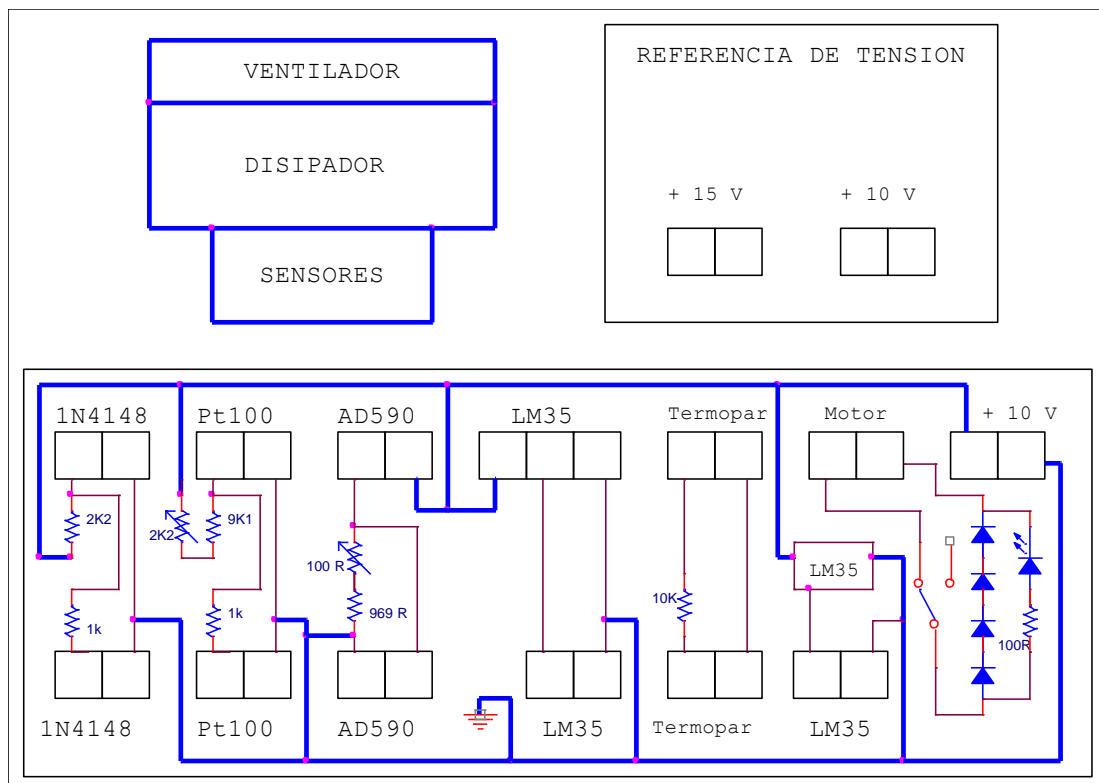
1.- INTRODUCCIÓN.

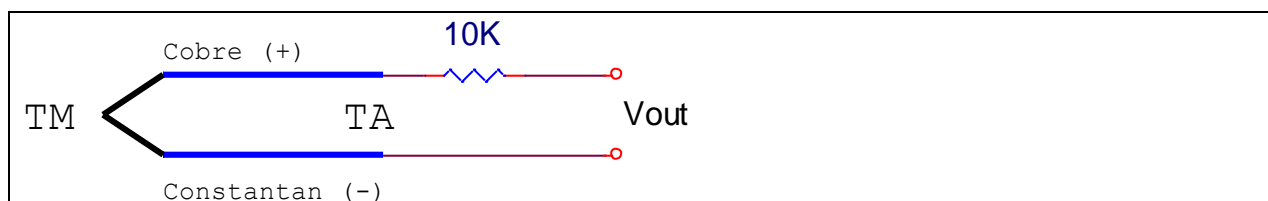
El objetivo de la práctica es familiarizarse con la utilización de diferentes sensores de temperatura midiendo sus características y diseñando circuitos de aplicación. La práctica consistirá en la caracterización de los transductores utilizados, y posteriormente en su aplicación práctica mediante el diseño de circuitos de acondicionamiento. Los sensores térmicos utilizados son:

- Una resistencia termométrica de platino Pt100, modelo PTFC clase B.
- Un diodo 1N4148
- Un AD590 K, con salida por corriente de $1\mu\text{A}/^\circ\text{C}$, modelo K.
- Un LM35 D, con salida por tensión de $10\text{ mV}/^\circ\text{C}$, modelo D.
- Un termopar tipo T.

Los sensores de temperatura están colocados entre dos resistencias de potencia, que se conectarán a la fuente de tensión en modo limitación de corriente. Al incrementar la corriente por las resistencias estas se calientan, variando de este modo la temperatura de los sensores. El conjunto de sensores y resistencias van pegadas a un disipador que tiene adosado un ventilador, de este modo podemos disminuir la temperatura de los sensores de forma más rápida.

La placa donde tenemos accesibles las conexiones a los sensores incorporan resistencias de polarización y de protección. En el siguiente esquemático se muestran estos circuitos para tenerlos en cuenta en el desarrollo de la práctica.





Para cada uno de los sensores determinar la sensibilidad obtenida a la salida de los circuitos anteriores:

	Diodo 1N4148	Pt100	AD 590 K	LM 35 D	Termopar T
Sensibilidad	-2.5mV/°C	3850± 13 ppm/°C	1mV/K	10.0 mV/°C	40.6 uV/°C

3.- El Termopar tipo T presenta una característica no lineal, con un coeficiente Seebeck de $S = 40,6 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ a 25°C . A continuación se suministra la tabla de tensión termoeléctrica para un termopar tipo T, en el rango de 0 a 70°C .

Tabla para un termopar tipo T. Tensión termoeléctrica en mV

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.000	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.352	0.391
10	0.391	0.431	0.470	0.510	0.549	0.589	0.629	0.669	0.709	0.749	0.790
20	0.790	0.830	0.870	0.911	0.951	0.992	1.033	1.074	1.114	1.155	1.196
30	1.196	1.238	1.279	1.320	1.362	1.403	1.445	1.486	1.528	1.570	1.612
40	1.612	1.654	1.696	1.738	1.780	1.823	1.865	1.908	1.950	1.993	2.036
50	2.036	2.079	2.122	2.165	2.208	2.251	2.294	2.338	2.381	2.425	2.468
60	2.468	2.512	2.556	2.600	2.643	2.687	2.732	2.776	2.820	2.864	2.909

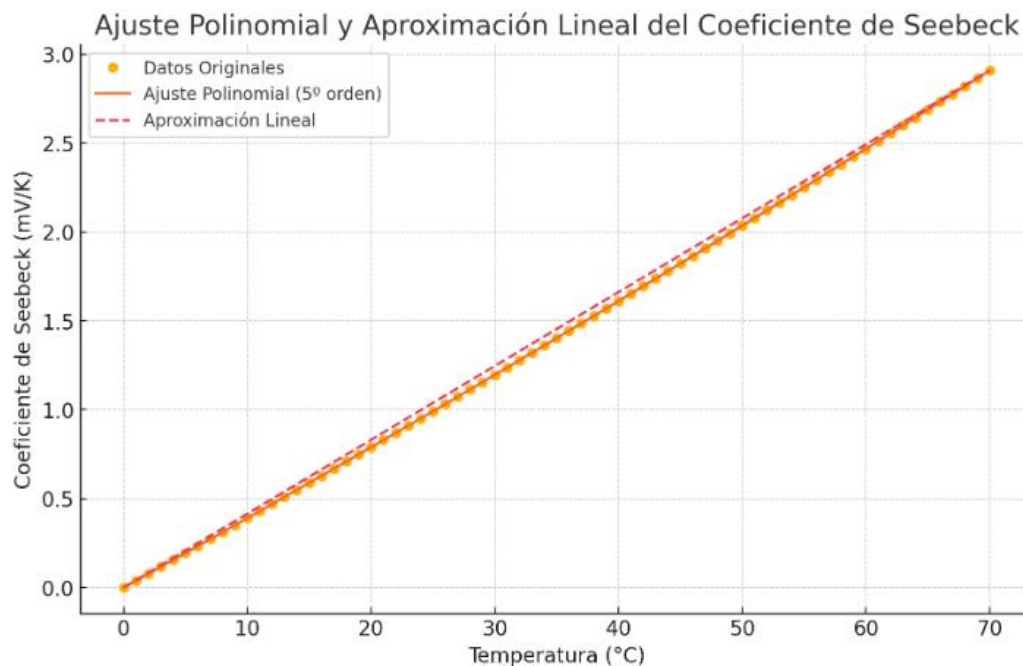
A partir de estos datos, determinar un polinomio de 5 orden que mejor se ajuste a los datos de la tabla. Una vez obtenido dicho polinomio determinar el error máximo respecto a la aproximación lineal de la recta que pasa por 0°C y 70°C .

$$P(T)=1.57\exp(-11)*T^5-3.71\exp(-9)*T^4+3.08\exp(-7)*T^3+3.14\exp(-5)*T^2+3.87\exp(-2)*T+2.94\exp(-4)$$

$$T = \sum_{i=0}^5 a_i \cdot V^i \quad V \text{ en mV}$$

a0	a1	a2	a3	a4	a5
2.94exp(-4)	3.87exp(-2)	3.14exp(-5)	3.08exp(-7)	-3.71exp(-9)	1.57exp(-11)

4.- Dibujar la función polinómica en el intervalo y determinar el coeficiente Seebeck medio, a través de la regresión lineal.



5.- Coeficiente Seebeck en el intervalo de 0 a 70 °C: $S = 4.155 \times 10^{-2}T + 3.94 \exp(-1)$

6.- Al no disponer de un patrón de temperatura para la calibración de los sensores, utilizaremos como referencia el sensor más exacto de los cinco utilizados, esto es, la resistencia termométrica de platino, Pt100.

Dada la sensibilidad de la Pt100 según especificaciones, determinar una expresión que nos de la temperatura en función de la tensión obtenida a la salida del circuito (tensión en la Pt100). Esta expresión es la que se utilizará en la práctica para determinar la temperatura de calibración “real” de los sensores.

$$T = 10^3 \cdot (10 \cdot V_{out} - 1) / 0.385(10 - V_{out})$$

7.- Dibujar sobre unos mismos ejes las dos gráficas teóricas siguientes (considerando la sensibilidad nominal de la Pt100):

a) Tensión de salida del circuito, $V_{Pt100}(T)$.

$$V_{out} = V_A / 9k9 / (1/9k9 + 1/Pt100)$$

b) Tensión en la Pt100, $V_{Pt100}(T)$, considerando una corriente constante de 1mA.

$$V_{Pt100} = Pt100 \cdot 1mA$$

8.- De las dos gráficas obtener el error, en °C y en %, que se comente en la medida de temperatura en función de T, por el hecho de no ser constante la corriente que circula por la Pt100. Determinar

la expresión teórica que nos da el error en temperatura del circuito real respecto al ideal (corriente constante de 1mA).

$$\text{Error } T(^{\circ}\text{C}) = 0.0514$$

2.2.- DISEÑO DE LOS ACONDICIONADORES

1.- Diseñar un circuito acondicionador para el termopar de modo que se obtenga a la salida 0V para 0 °C y 5V para 50 °C. Utilizar el circuito propuesto a continuación, y utilizar para la compensación de la unión fría el LM35 presente en la placa del módulo. Determinar los valores de los componentes del circuito (Considerar que R2 puede tomar un valor muy pequeño, por ejemplo, del orden de 10Ω, y que se cumple la condición $R_2 \ll R_1$). Explicar el proceso de diseño, las ecuaciones de cálculo, y los valores elegidos.

R2= R1 =
R3 =

Handwritten calculations for thermocouple conditioning circuit design:

$$V_{O1} = \frac{V_{LM35}}{R_1} R_3, \quad G = \frac{100 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}}{41.67 \text{ }^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}} = 2400$$

$$V_{O2} = (V_T - V_A) \left(1 + \frac{R_3}{R_1 \parallel R_2} \right) \quad R_2 \ll R_1$$

$$= (V_T - V_A) \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$

$$V_O = \frac{V_{LM35}}{R_1} R_3 + V_T \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right) - V_A \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$

$$V_O = V_T \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right) \quad \text{Queremos 5V para } 50^{\circ}\text{C}$$

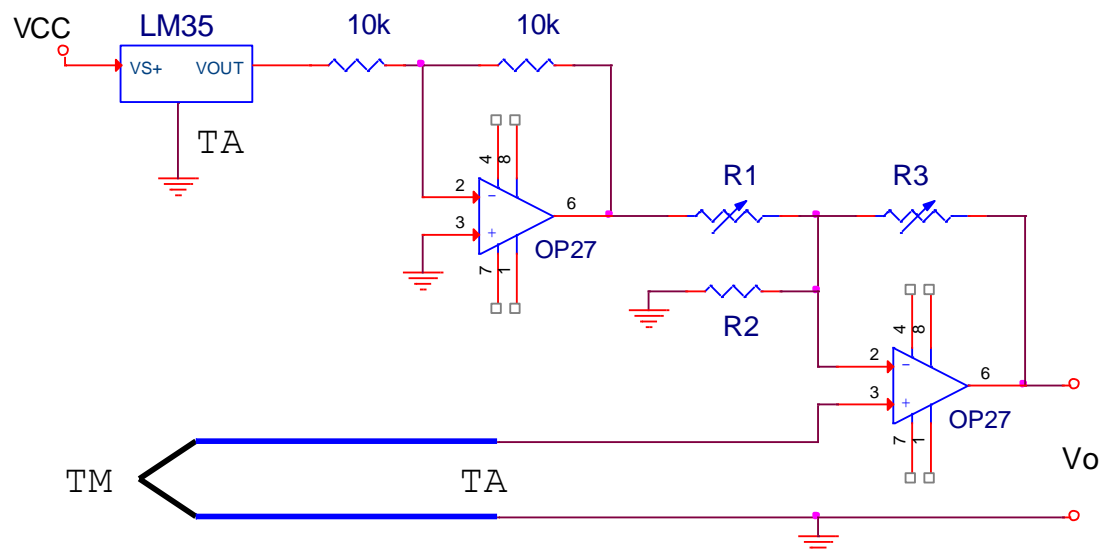
$$5 \text{ V} = 2.018 \text{ m} \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right) \rightarrow \frac{R_3}{R_2} = 2476.7$$

Ahora compensamos: $\frac{V_{LM35}}{R_1} R_3 = V_A \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right) \rightarrow V_A = 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} (25)$

$$\Rightarrow \frac{R_1}{R_3} = 1.04 \rightarrow R_1 = 25756 \Omega \quad R_2 = 10 \Omega$$

$$R_3 = 24860 \Omega$$

Figura 1: Cálculos previos termopar



Nota: (1) no conecte las masas en el borne de masa de la fuente de alimentación. Conecte las masas en un único punto común de la placa de montaje, a donde conectará la masa de la fuente de alimentación. (2) el terminal del termopar a conectar a masa es el identificado con el color blanco.

2.- En todos los circuitos se utilizará el A.O. OP27 de baja tensión de offset y baja deriva térmica. Obtener de las especificaciones el valor de estos parámetros del OP27:

Tensión de offset = 10 μ V

Deriva térmica del offset = 0.2 μ V/°C

3.- Diseñar un circuito acondicionador para la Pt100 de modo que se obtenga a la salida 0V para 0 °C y 5V para 50 °C. Utilizar el circuito propuesto a continuación. Determinar los valores de los componentes del circuito. Tomar $R_o = 10K$. Utilizar un REF-01 para generar los +10V de la rama izquierda del puente (La rama derecha, con la Pt100 es la montada en el módulo de prácticas). El AD620 es un amplificador de instrumentación integrado, en el cual se selecciona la ganancia diferencial, G_d , mediante la resistencia R_G , y según la expresión:

$$R_G = \frac{49,4k\Omega}{G_d - 1} \text{ por lo que } G_d = 260$$

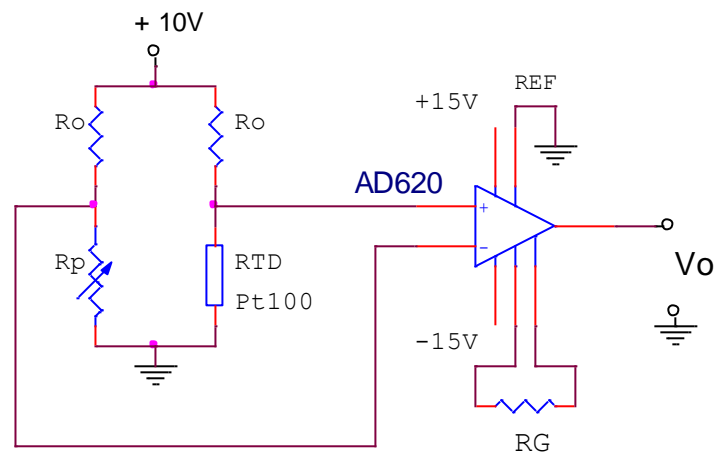
Determinar los valores de las resistencias para el diseño según especificaciones.

Como $R_{TD} = 100(1 + \alpha(T))$, para 0 grados $V_+ = V_-$

$100 * 10 / (100 + 10000) = 990mV$ y como $V_- = 100 * R_p / (R_o + R_p) \rightarrow R_p = 100$

$R_p = 100$

$R_G = 190$



4.- Diseñar un circuito acondicionador para el diodo 1N4148 de modo que se obtenga a la salida 0V para 0 °C y 5V para 50 °C. Dar el esquema del circuito propuesto, así como los valores de los componentes elegidos. (Utilizar un seguidor de tensión para no cargar el diodo, y un REF-01 para generar la tensión que permite obtener 0V a 0°C.)

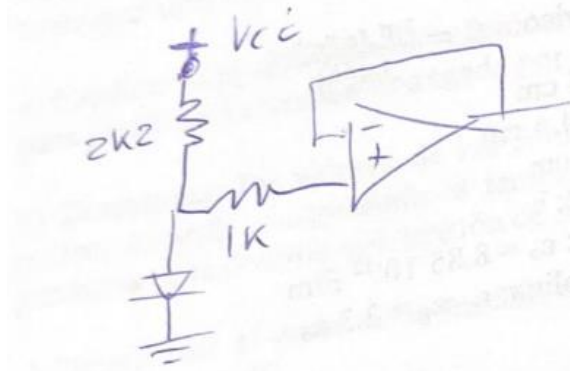


Figura 2

5.- Diseñar un circuito acondicionador para el LM35 de modo que se obtenga a la salida 0V para 0 °C y 5V para 50 °C. Dar el esquema del circuito propuesto así como los valores de los componentes elegidos.

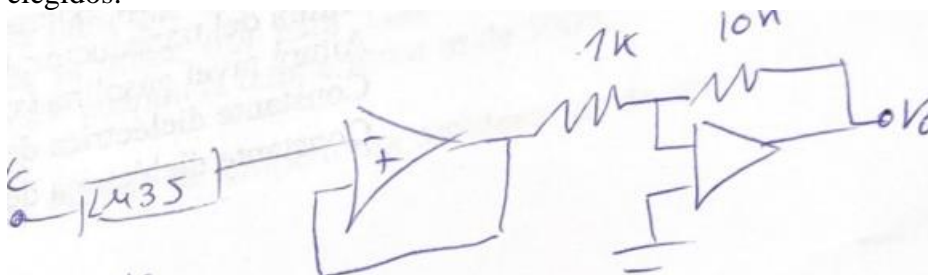


Figura 3

6.- Diseñar un circuito acondicionador para el AD590 de modo que se obtenga a la salida 0V para 0 °C y 5V para 50 °C. Dar el esquema del circuito propuesto así como los valores de los componentes elegidos.

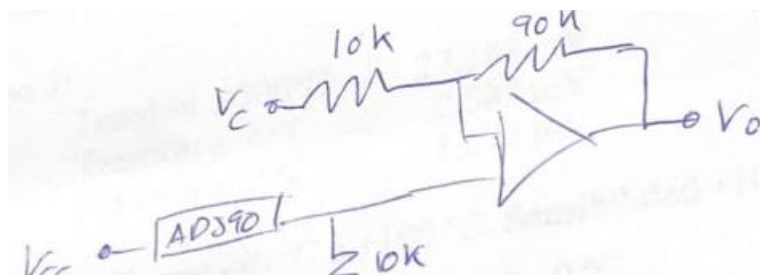


Figura 4

3.- DESARROLLO PRÁCTICO.

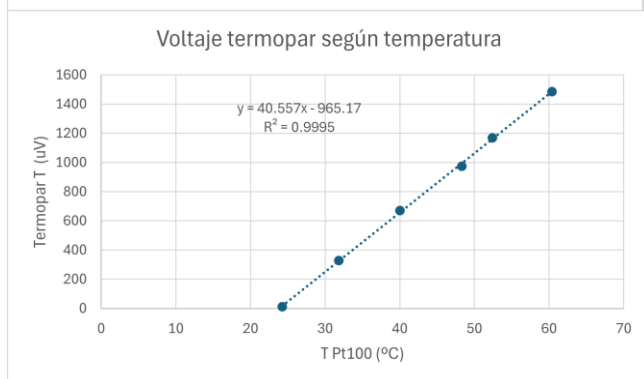
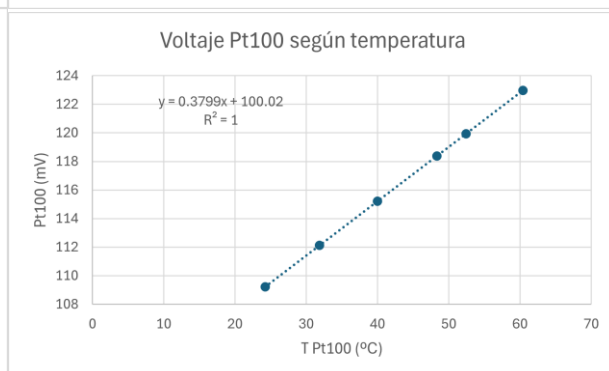
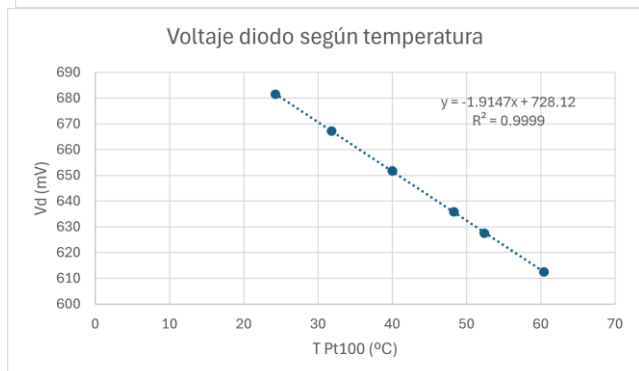
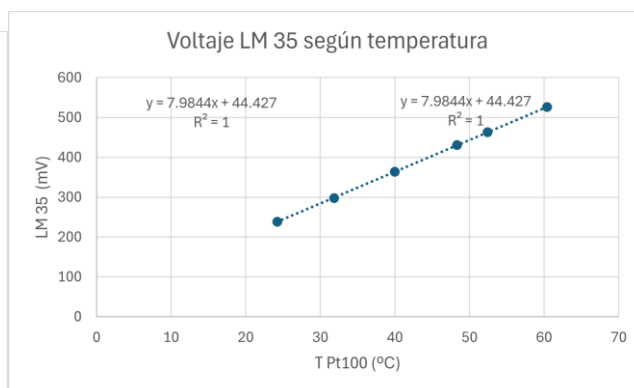
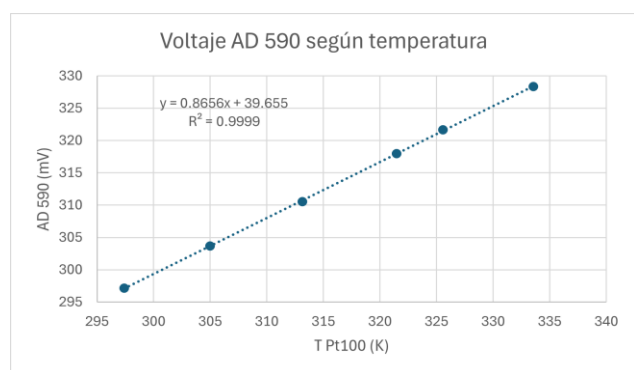
3.1.- CARACTERIZACIÓN DEL TRANSDUCTOR.

Para la caracterización de los transductores se irá incrementando la temperatura y midiendo la respuesta del transductor. Se obtendrá de este modo la curva de calibración. Para ello, conectar los terminales de las resistencias calefactoras a la fuente variable, con la limitación de corriente a mínimo, y la tensión a máximo. La fuente de tensión actuará de este modo como una fuente de corriente. La potencia disipada por las resistencias será; $P = I^2 R$, y la temperatura proporcional a la potencia disipada.

1.- Deberá completarse la tabla siguiente, teniendo en cuenta para ello que una vez fijada una corriente deberá esperarse un tiempo hasta que la temperatura final esté estabilizada (chequear para ello la tensión en el Pt100, y esperar hasta que el cambio sea inferior a 0,01mV en 5 segundos). Una vez estabilizada la temperatura, medir las salidas de cada sensor. Calcular los valores de la última columna de la tabla, Pt100 (°C), a partir de la expresión de la temperatura “real” determinada en el apartado teórico.

I / Sensor	Vd (mV)	Pt100 (mV)	AD 590 (mV)	LM 35 (mV)	Termopar T (μV)	Pt100 (°C)
0 A	681.56	109.229	297.15	238.12	13	24.24
1 A	667.19	112.12	303.67	297.86	328	31.84
1,4 A	651.74	115.220	310.54	364.11	671	40.0
1,7(2) A	635.85	118.378	317.95	430.74	975	48.31
1,9 A	627.48	119.94	321.66	463.44	1170	52.42
2,11 A	612.43	122.97	328.33	526.04	1484	60.41

2.- Para cada uno de los sensores, dibujar la gráfica de tensión de salida en función de la temperatura “real” (última columna de la tabla anterior). Para el AD590 expresar la temperatura en grados Kelvin.



Gráficos de tensión en función de temperatura

3.- Para cada uno de los sensores realizar una aproximación lineal por regresión lineal ($T = a + b V$) y obtener los parámetros de la aproximación lineal (a,b). De la regresión lineal obtener para cada sensor la sensibilidad, así como el error máximo obtenido por la aproximación lineal (error de linealidad).

	Diodo 1N4148	Pt100	AD 590 K	LM 35 D	Termopar T
Regresión Lineal $V = a + b T$	$y = -1.9147(T) + 728.12$	$y = 0.3799(T) + 100.02$	$y = 0.8656(T) + 39.655$	$y = 7.9844(T) + 44.427$	$y = 40.557(T) - 965.17$
Sensibilidad b	-1.91 mV/ °C	0.38 mV/ °C	0.87 mV/ K	7.98 mV/ °C	40.56 uV/ °C
Error Lin. (%)	4%	0.8%	6.3%	0.31%	10%

4.- Comparar estos resultados con los obtenidos en el apartado teórico. En el caso del termopar, con la regresión lineal se habrá obtenido el coeficiente Seebeck medio en el intervalo de medida. Comparar el valor experimental obtenido con el determinado en el apartado teórico.

	Diodo 1N4148	Pt100	AD 590 K	LM 35 D	Termopar T
Sensibilidad Teórica	-2.6mV/°C	3850 ± 13 ppm/°C	1mV/°C	10mV/°C	40.6uV/°C
Sensibilidad Experimental	-1.91 mV/ °C	0.38 mV/ °C	0.87 mV/ K	7.98 mV/ °C	40.56 uV/ °C

3.2.- ACONDICIONADORES DE SEÑAL

Montar los dos circuitos diseñados en el apartado teórico: acondicionador para termopar tipo T, y Pt100. Dada la imposibilidad de disponer de una referencia de temperatura para el ajuste de del acondicionadora, y con objeto de simplificar el ajuste del acondicionador, se realizará el siguiente proceso para cada uno de los acondicionadores:

3.2.1.- AJUSTE DEL ACONDICIONADOR CON TERMOPAR

1.- De la regresión lineal de la relación tensión-temperatura del termopar, en el rango de 25°C a 50°C, obtenemos un coeficiente Seebeck de 41,67 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Consideraremos este valor la sensibilidad del termopar en el rango de medida y determinaremos la ganancia del circuito para obtener la sensibilidad deseada a la salida del acondicionador.

$$G = \frac{100mV/^{\circ}C}{41.67\mu V/^{\circ}C} = 2400$$

2.- La ganancia del acondicionador de la señal del termopar, G, toma la expresión:

$$G = 1 + \frac{R_3}{R_1 \parallel R_2}$$

3.- Tomaremos la resistencia $R_2 = 10 \Omega$ de valor nominal.

4.- La resistencia R_1 será la combinación en serie de una resistencia de 2K2 y un potenciómetro de 470 Ω . Inicialmente ajustaremos el valor del conjunto a 2400 Ω .

5.- La resistencia R_3 será la combinación en serie de una resistencia de 22K y un potenciómetro de 5K Ω .

6.- Mediremos el valor resistivo que toma el paralelo de R_1 y R_2 (R_p).

7.- Ajustaremos el valor de R_3 a $2399 \cdot R_p$. 23890

8.- Finalmente, compensaremos la temperatura de la unión de referencia del termopar mediante el ajuste de R_1 , de forma que a temperatura ambiente se obtenga la tensión esperada:

$$Vo(T_{amb}) = 100mV/^{\circ}C \cdot T_{amb}$$

3.2.2.- AJUSTE DEL ACONDICIONADOR CON Pt100

1.- Para una corriente de excitación de 1mA, la tensión medida en la Pt100 tendrá una sensibilidad teórica de 0.385mV/ $^{\circ}$ C.

2.- Dada la sensibilidad de la Pt100, determinar la ganancia diferencial requerida en el acondicionador, Gd, según la expresión:

$$Gd = \frac{100mV/^{\circ}C}{0.385mV/^{\circ}C} = 260$$

3.- Ajustar la ganancia del acondicionador colocando la RG determinada teóricamente según la expresión de ganancia del AD620. Para ello, poner una resistencia de 100 Ω en serie con un potenciómetro de 100 Ω , y ajustar el conjunto a 191 Ω .

4.- Una vez ajustada la ganancia del acondicionador, conectar el sensor al acondicionador y ajustar el offset del circuito mediante R_p , de forma que a temperatura ambiente se obtenga la tensión esperada:

$$V_o(T_{amb}) = 100mV/^{\circ}C \cdot T_{amb}$$

3.2.3.- MEDIDA DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN

1.- Una vez montados y ajustados los acondicionadores tomar medidas y rellenar la siguiente tabla de calibración. En la última columna poner el valor “real” de la temperatura, obtenida de la medida de la caída de tensión en la Pt100, y la ecuación que relaciona dicha tensión con la temperatura real (ecuación determinada en el apartado teórico).

I / Sensor	Pt100 (°C)	Termopar T (°C)	Pt100 (°C) real
0 A	29.75 °C		111.15mV=29.29 °C
1 A	31.79 °C		112.013mV=31.56 °C
1,4 A	39.81 °C		115.037mV=39.51 °C
1.7 A	44.02 °C		116.54 mV=43.47 °C
1,9 A	49.58 °C		118.7 mV=49.15 °C
2,13A	57.68 °C		121.8mV=57.32 °C

2.- Dibujar las gráficas de la salida de cada acondicionador respecto a la temperatura real, y determinar el error de linealidad en la medida en % y en °C.

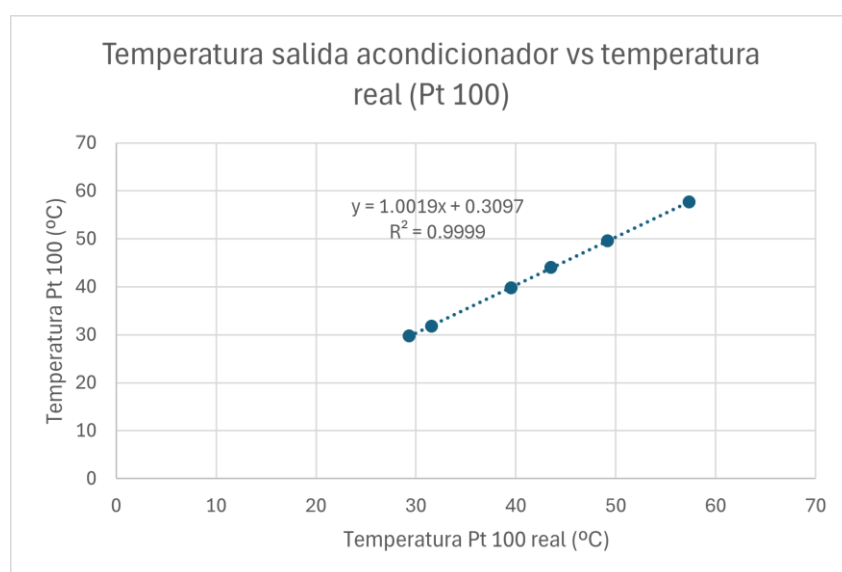


Figura 4: Comparación temperaturas

Error de linealidad: 2.01%

4.- ESPECIFICACIONES.

Se adjuntan las especificaciones de los sensores utilizados: Pt100, 1N4148, AD590, LM35, Termopar tipo T. En archivo: "Práctica Temperatura Especificaciones Sensores 2013.pdf"