

PRACTICA No 10

EL PUENTE COMO TRANSDUCTOR

INTRODUCCION

Una gran cantidad de variables físicas son medidas por medio de transductores resistivos por ejemplo: galgas extensométricas, termistores, termómetros de resistencia, etc.; los cuales manifiestan variaciones en su resistencia eléctrica a causa de cambios en la variable física que se mide.

Generalmente este tipo de aplicaciones se efectúa en variables que cambian continuamente, lo cual hace improcedente la medición de la resistencia del transductor por el método del puente balanceado ya que resulta imposible reestablecer manualmente el equilibrio de dicho puente cada vez que la variable presenta un cambio. Por lo anterior, es necesario analizar la respuesta del puente de CD, es decir, la corriente en el detector, cuando uno de sus elementos se desvía de su valor de equilibrio.

Termómetro de resistencia

En el diagrama de bloques de la figura 1 se indica que la variable física (temperatura) es detectada con un termómetro de resistencia, el cual presenta una respuesta aproximadamente lineal, dentro de un cierto rango de variación de la variable física.

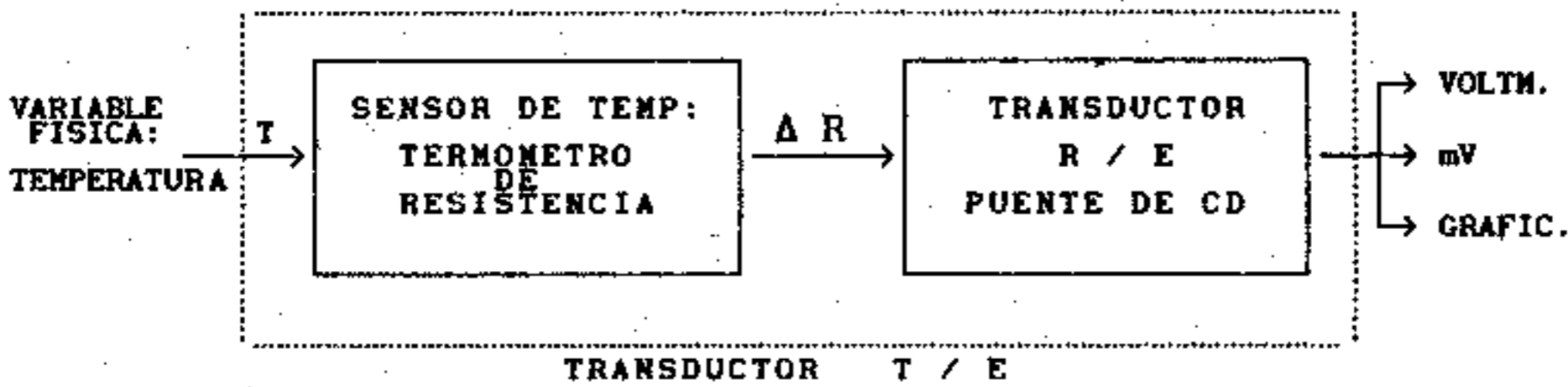


Figura 1

La ecuación 1 se aplica a los termómetros de resistencia en su rango lineal y en la figura 2 muestra la expresión gráfica de dicha ecuación.

$$R_T = R_1 [1 + \alpha(T - T_1)] \quad (1)$$

donde

- R_T Resistencia del termómetro a la temperatura T
- R_1 Resistencia a la temperatura T_1 .
- α Coeficiente de resistencia por temperatura
- T_1 Temperatura de referencia.

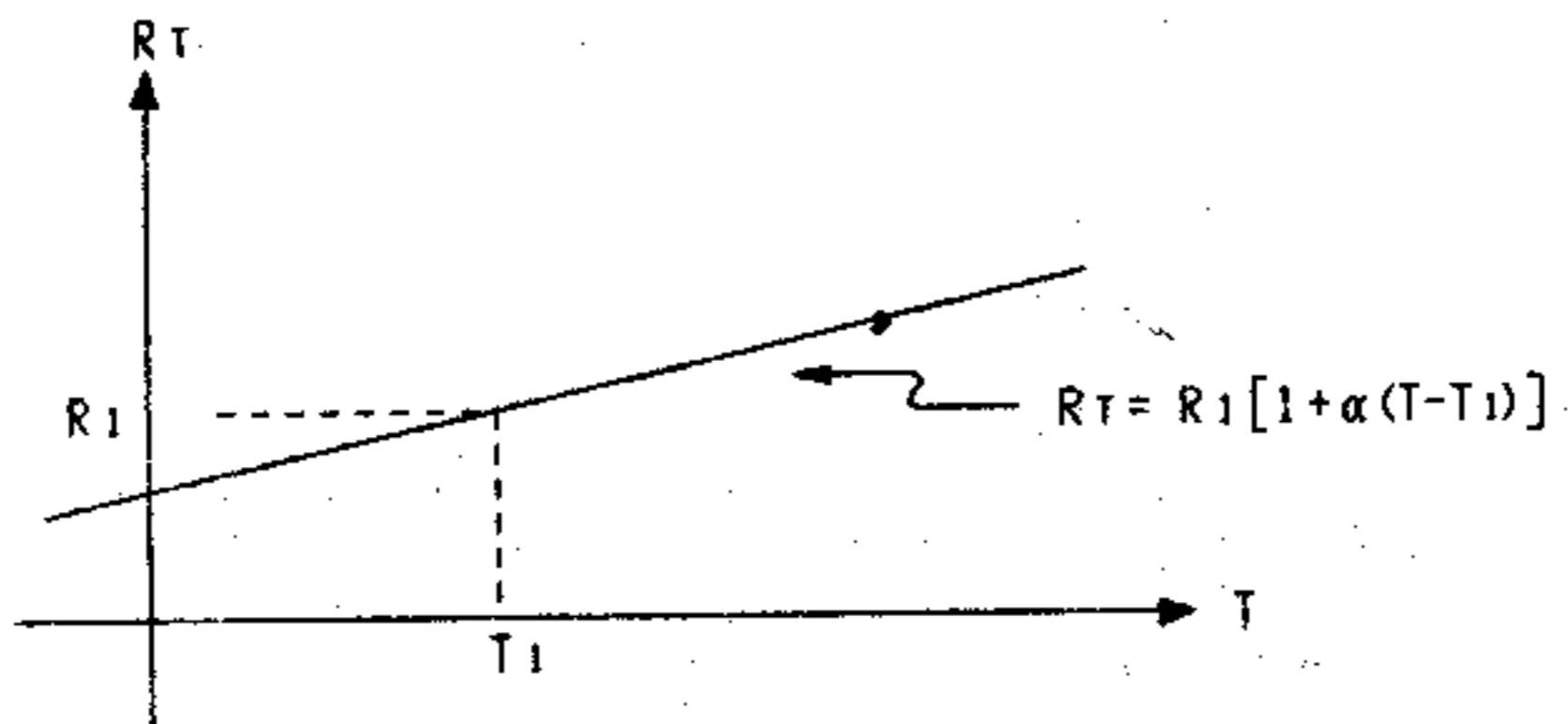


Figura 2

El valor del coeficiente α varía para cada material empleado en la fabricación del sensor.

Respuesta del puente de CD desbalanceado

Dado el circuito de la figura 3, se obtendrá una expresión para i_g y V_{AB} en función de pequeñas variaciones de la resistencia R_3 .

Equivalente de Thévenin.- El circuito equivalente entre los puntos A y B, en los cuales está conectado el galvanómetro se muestra en la figura 4. Donde el voltaje de Thévenin E_{AB} está determinado por la siguiente ecuación:

$$E_{AB} = \frac{E (R_2 R_4 - R_1 R_3)}{r_i R_t + (R_1 + R_4)(R_2 + R_3)} \quad (2)$$

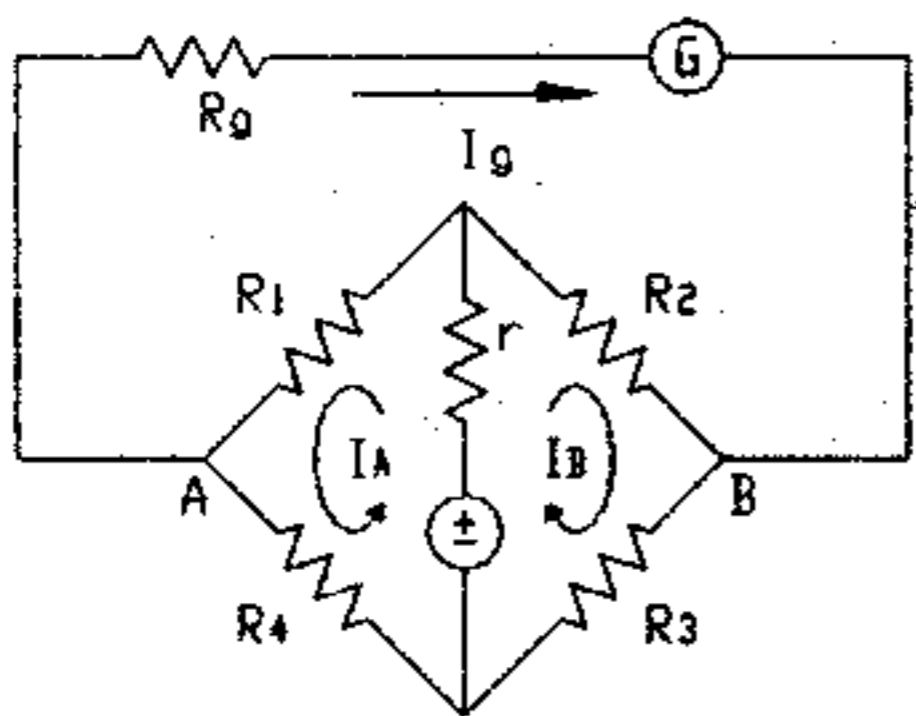


Figura 3

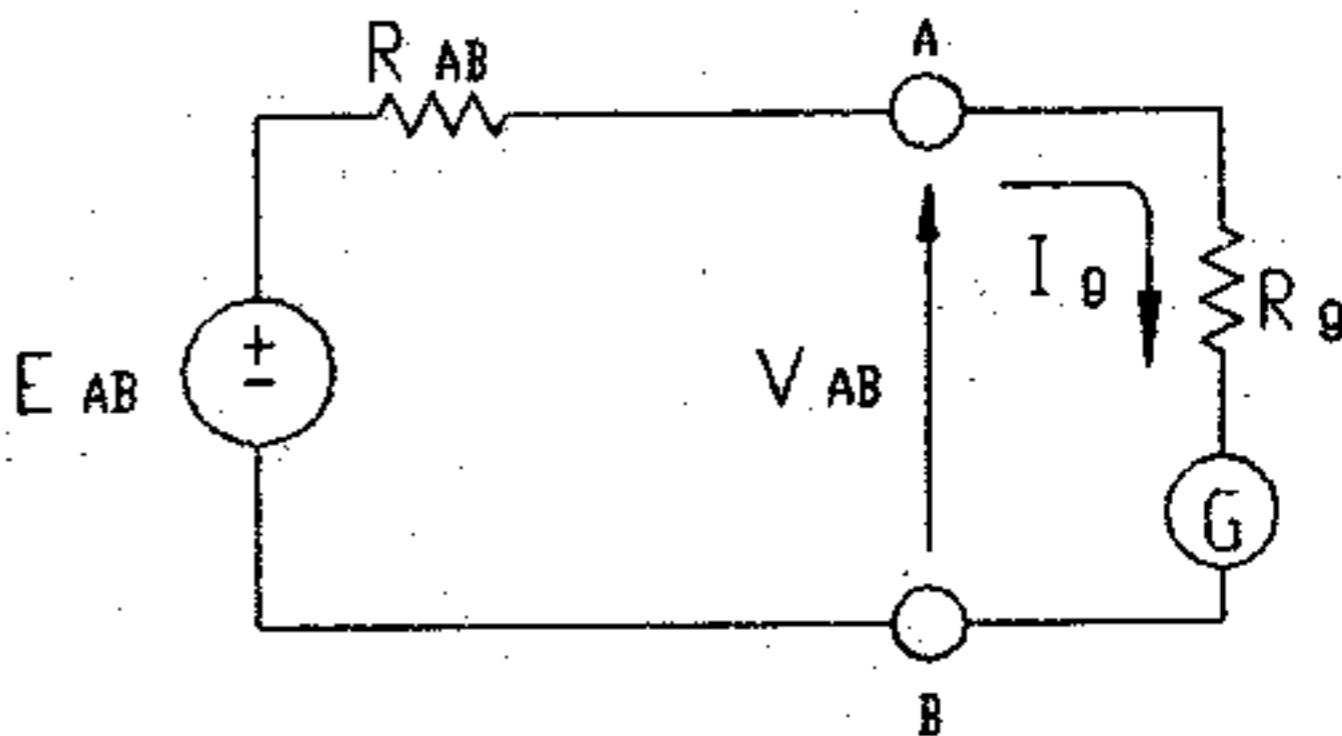


Figura 4

Tomando $r_i = 0$, la resistencia equivalente de Thévenin R_{AB} está determinada por:

$$R_{AB} = \frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{R_t} \quad (3)$$

donde

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \quad (4)$$

De acuerdo al equivalente de Thévenin, la corriente en el galvanómetro se determina por la siguiente expresión:

$$i_g = \frac{E_{AB}}{R_{AB} + R_g}$$

Solución aproximada. - La expresión para i_g se simplifica si se considera al puente ligeramente desequilibrado como resultado de una pequeña variación de R_3 alrededor de su valor de equilibrio.

$$R_3 = R_{30} + R \quad (5)$$

R_{30} es el valor de equilibrio de R_3 y por lo tanto cumple con la siguiente condición:

$$R_2 R_4 = R_1 R_{30} \quad (6)$$

R es una pequeña variación de R_3 con respecto a R_{30} .

Sustituyendo la ecuación (5) en (4),

$$R_t = R_1 + R_2 + R_4 + (R_{30} + R)$$

$$R_t \approx R_1 + R_2 + R_4 + R_{30} \quad (7)$$

Sustituyendo la ecuación (5) en (3) la resistencia equivalente R_{AB} se aproxima a

$$R_{AB} = \frac{(R_1 + R_2)(R_{30} + R + R_4)}{R_1 + R_2 + R_{30} + R + R_4}$$

$$R_{AB} \approx = \frac{(R_1 + R_2)(R_{30} + R_4)}{R_1 + R_2 + R_{30} + R + R_4} \quad (8)$$

Al sustituir (5) en (2) se obtiene:

$$E_{AB} = \frac{E (R_2 R_4 - R_1 R_{30} - R_1 R)}{r_1 R_t + (R_1 + R_4) (R_2 + R_{30} + R)}$$

Para la ecuación de equilibrio (6) indica que $R_2 R_4 - R_1 R_{30} = 0$ y considerando despreciable a R con respecto a R_{30} la ecuación anterior se aproxima a:

$$E_{AB} = \frac{-E R_1 R}{r_1 R_t + (R_1 + R_4) (R_2 + R_{30})} \quad (9)$$

Tomando las ecuaciones (7), (8) y (9) la expresión para la corriente i_g es:

$$i_g = \frac{E_{AB}}{R_{AB} + R_g}$$

$$i_g = \frac{-E R_1 R R_t}{\left[r_1 R_t + (R_1 + R_4) (R_2 + R_{30}) \right] \left[R_g R_t + (R_1 + R_2) (R_4 + R_{30}) \right]} \quad (10)$$

Si la respuesta del galvanómetro es el voltaje V_{AB} , se tiene:

$$V_{AB} = i_g R_g = \frac{-E R_1 R R_t R_g}{\left[r_1 R_t + (R_1 + R_4) (R_2 + R_{30}) \right] R_g \left[R_t + (R_1 + R_2) (R_4 + R_{30}) / R_g \right]}$$

Si la variación del voltaje V_{AB} se efectúa con un instrumento de alta impedancia de entrada, tal que se cumpla que: $R_g \gg (R_{30} + R_4)$, la expresión para V_{AB} se aproxima a:

$$V_{AB} = \frac{-E R_1 R}{r_1 R_t + (R_1 + R_4) (R_2 + R_{30})} \quad (11)$$

El signo negativo indica que el voltaje E es de polaridad contraria a la indicada en el diagrama y

$$R_t = R_1 + R_2 + R_{30} + R_4 \quad (12)$$

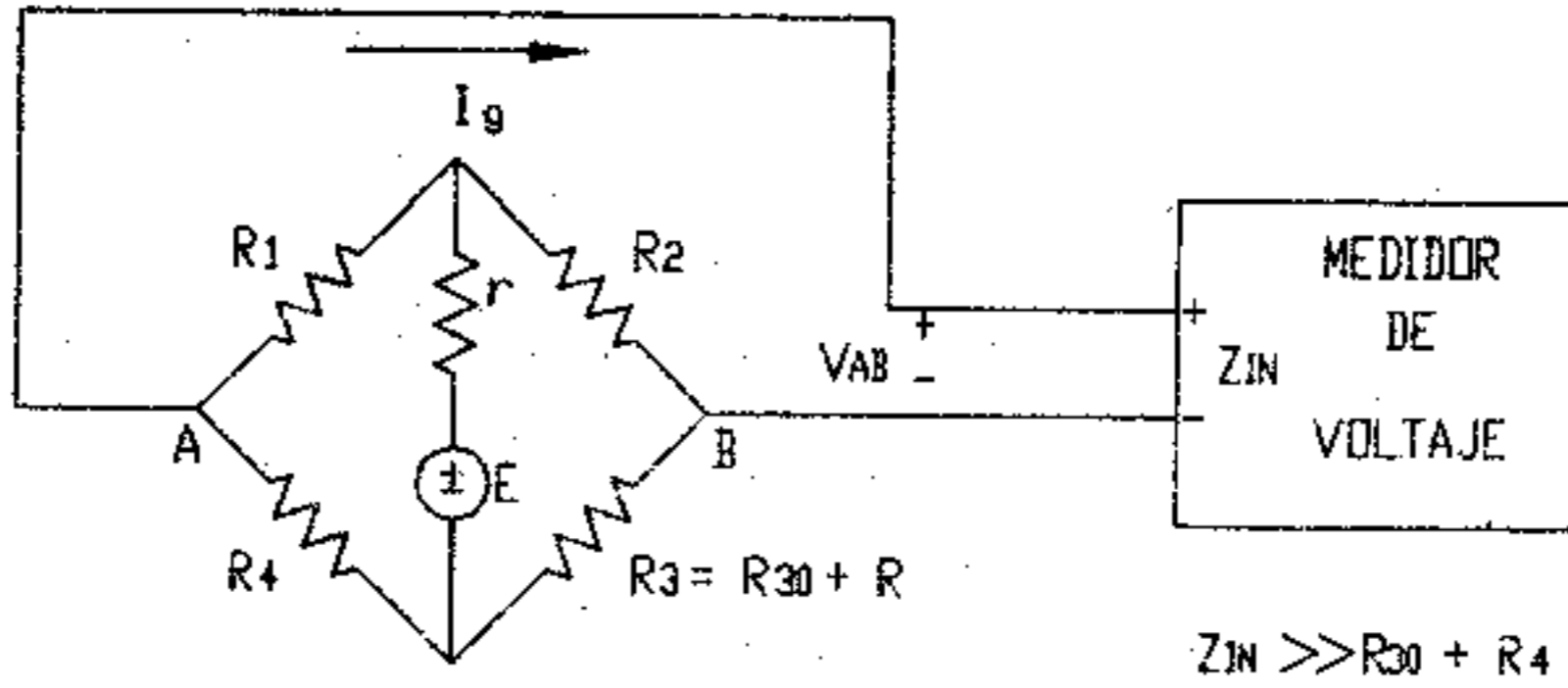


Figura 5

El diagrama de la figura 5 y las ecuaciones (11) y (12) conforman el esquema que se empleará para implementar el transductor de *RESISTENCIA / VOLTAJE* de la práctica.

Es importante mencionar que la ecuación (11) expresa una relación lineal de la respuesta del puente (V_{AB}) con respecto a las variaciones de R_3 , sin embargo, no debe olvidarse que esta expresión solamente es válida para pequeñas variaciones alrededor de su valor de equilibrio (R_{30}).

Características del transductor temperatura / voltaje.- La configuración general del transductor es como la que se muestra en el diagrama de bloques de la figura 1 y debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Rango de medición: 0-60 °C.
- Sensibilidad: $S = 1 \text{ mv/}^\circ\text{C}$.
- Rango de salida: -20 a 40 mv.

La sensibilidad del puente S_p será determinada por la sensibilidad del sensor S_s y por la sensibilidad que se ha especificado para el transductor S_t . La relación que guardan estos tres parámetros es la siguiente:

$$S_T = S_s * S_p \quad (13)$$

Características del Sensor.- El sensor de temperatura que se utiliza es un termómetro de resistencia de platino, el cual tiene las siguientes características:

- Resistencia a la temperatura de referencia $T = 20^\circ\text{C}$:

$$R_1 = 107.93 \Omega$$

- Coeficiente de resistencia por temperatura.

$$\alpha = 0.00366 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 1 se tiene:

$$R_T = 107.93 (1 + 3.666 * 10^{-3}(T - 20))$$

o bien

$$R_T = 107.93 + 0.3956(T - 20) \quad (14)$$

La ecuación (14) determina los valores de la resistencia del sensor para cualquier temperatura (dentro de su rango lineal); si la temperatura es mayor a 20 °C la resistencia es mayor a 107.93 Ω y menor si la temperatura está por debajo de la de referencia. La sensibilidad del elemento, es decir, la variación de la resistencia como resultado de una variación de 1 °C de temperatura es de 0.3956 Ω/°C, esto es:

$$S_s = 0.3956 \Omega/^{\circ}\text{C} \quad (15)$$

De acuerdo a los valores establecidos para S_T S_s , la sensibilidad que debe tener el circuito puente se puede determinar a partir de la ecuación (13);

$$S_p = \frac{S_T}{S_s} \quad \text{mV}/\Omega \quad (16)$$

OBJETIVO

- Proporcionar al alumno los conocimientos teórico-prácticos relativos al comportamiento del puente de CD desbalanceado y su utilidad como transductor de RESISTENCIA / VOLTAJE.
- Desarrollar e implementar un transductor de TEMPERATURA / VOLTAJE

EQUIPO Y MATERIAL

Termómetro de resistencia.
Termómetro de mercurio.
Barra de calentamiento y accesorios de montaje.
Puente medidor de resistencias (Puente de Wheatstone).
Década de resistencias.
Módulo 294A circuito puente. Tecnikit (Feedback).
Vóltmetro.
Cables de conexión.

DESARROLLO

EXPERIMENTO I IMPLEMENTACION Y VERIFICACION DEL PUENTE

- a) Arme el circuito de la figura 6 con los siguientes valores:
- $R_1 = R_4 = 1 \text{ K}\Omega$
 - $R_2 = 0 - 1 \text{ K}\Omega$ (variable)
 - $R_3 = 0 - 999.9$ (década de resistencias)

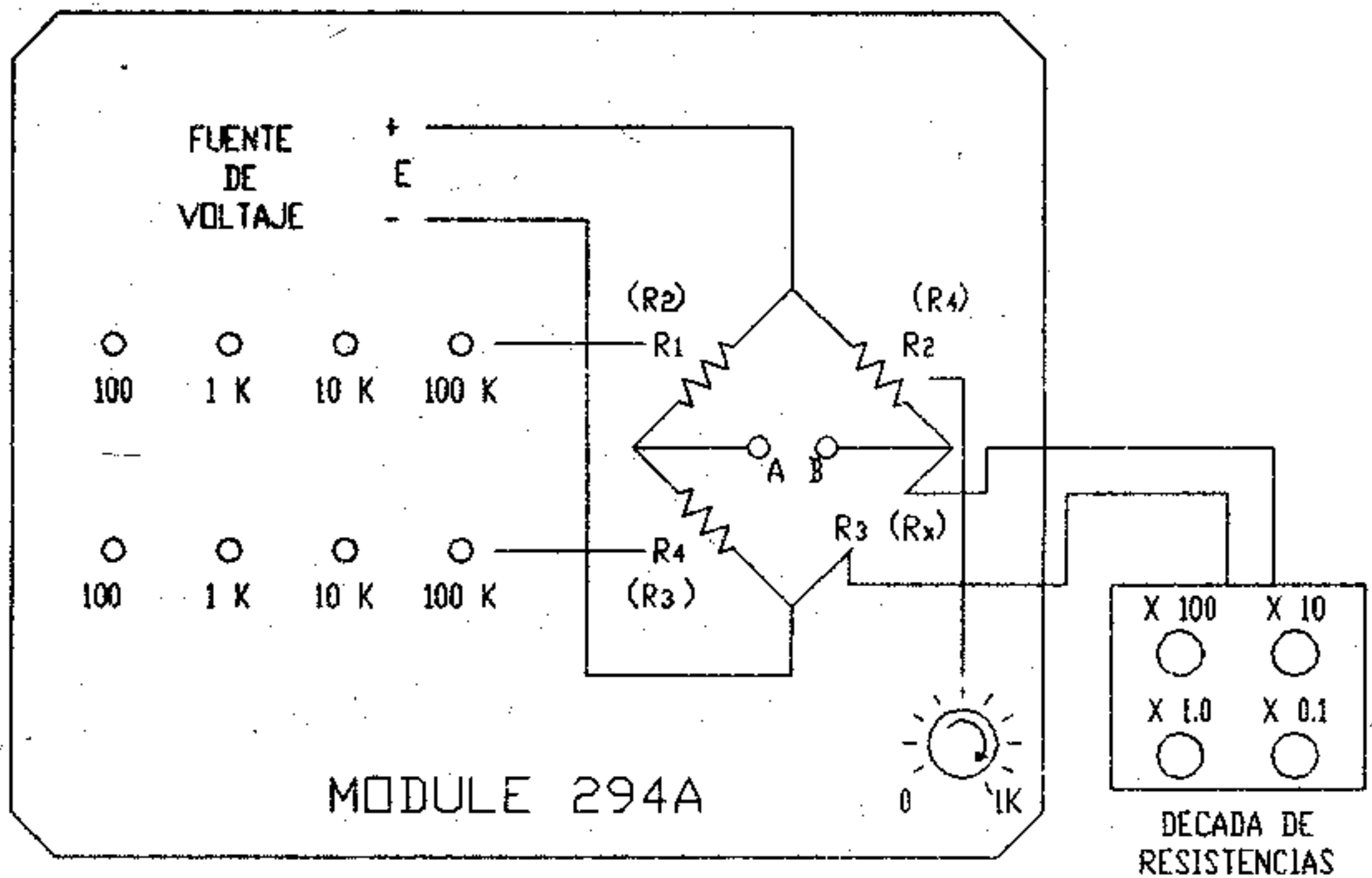


Figura 6

* La notación entre paréntesis corresponde a la identificación que se da a las resistencias del puente en el módulo 294A.

- A partir de la ecuación (16), determine la sensibilidad del puente. Con el valor calculado, aplíquelo en la ecuación (11) y determine el voltaje E que se aplicará al puente a fin de que responda a la sensibilidad calculada (considere $r_i = 0$).
- Conecte la fuente de voltaje al circuito, ajustada previamente al valor calculado y observando la polaridad correcta.

Equilibrio del puente y verificación de la sensibilidad

- Una vez implementado el puente, mida el voltaje entre las terminales A(+) y B(-). Emplee el voltmetro en su rango mínimo (mv).
 - Aproxime V_{AB} a cero variando la resistencia R_2 . Si el ajuste no se logra, complémtelo con la resistencia R_3 (década de resistencias).
 - Después de realizados estos ajustes, los brazos del puente se encuentran en su valor de equilibrio.
- Registre el valor de equilibrio de R_3 (R_{30}).
- Verifique y registre la sensibilidad del puente variando R_3 (década de resistencias) en pasos de 1Ω y 10Ω alrededor de su valor de equilibrio.

$$S_p = \frac{mV}{1\Omega}$$

$$S_p = \frac{mV}{10\Omega}$$

Conexión del Sensor de Temperatura al puente.

- a) Una vez determinado el valor de R_{30} , se incluirá en este brazo del puente al elemento sensor.
- Se debe observar que la resistencia del termómetro es menor a R_{30} :

$$R_T = 107.93\Omega \text{ a } 20^\circ\text{C}$$

Por lo que es necesario conectar al elemento una resistencia en serie R'_{30} , tal que la suma de ambas de el valor de R_{30} , esto es:

$$R_{30} = R_T \Big|_{20^\circ\text{C}} + R'_{30} \tag{17}$$

de esta forma, la resistencia en serie R'_{30} será:

$$R'_{30} = R_{30} - R_T \Big|_{20^\circ\text{C}}$$

- Calcule y registre el valor de R'_{30} .
- b) Evitando cualquier modificación al circuito, conecte el termómetro de resistencia de acuerdo al diagrama de la figura 7 y mida el voltaje V_{AB} .
- El voltmetro deberá estar en el rango de mV.
- El valor de la resistencia R'_{30} , se fijará en la década de resistencias.

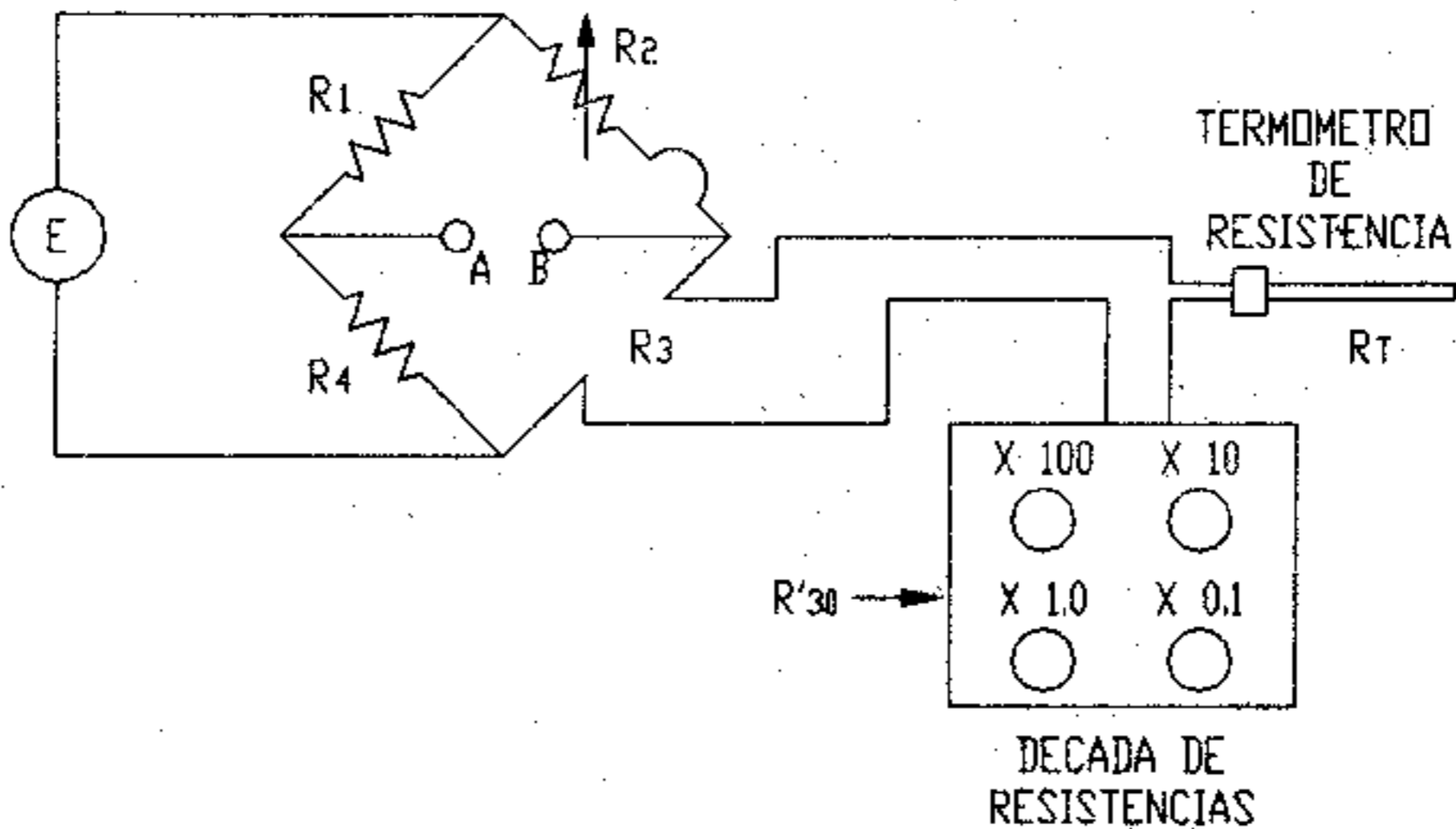


Figura 7

- Al conectar el voltmetro, indicará un voltaje diferente de cero, dada la referencia que se tomó; no obstante, debe verificarse, con gran aproximación, la sensibilidad prevista para el dispositivo: por cada 1°C de temperatura arriba o abajo de los 20°C , el voltmetro indicará $+ 1\text{ mV}$ ó $- 1\text{ mV}$ según sea el caso.

EXPERIMENTO II VERIFICACION DEL TRANSDUCTOR TEMPERATURA / VOLTAJE

- Encienda el calentador de la barra de calentamiento y espere 40 minutos a que la temperatura se estabilice en el dispositivo.
- En la figura 8 se muestra la barra de calentamiento, la cual dispone en uno de sus extremos de un calentador y en el otro de un disipador, resultando de este arreglo un gradiente de temperatura a lo largo de dicha barra.

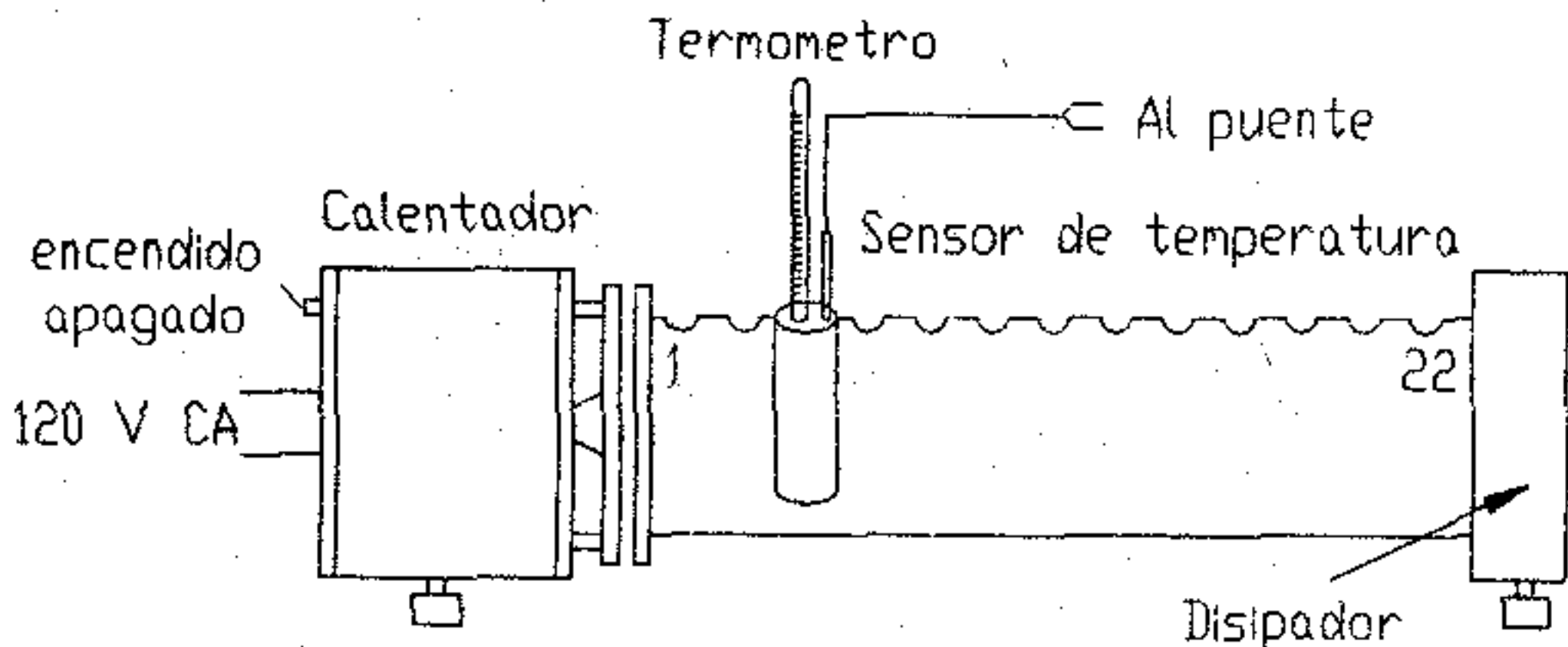


Figura 8

- Sobre la barra hay hendiduras ubicadas cada 1 cm, a todo lo largo; las hendiduras sirven como punto de referencia para instalar el tanque de calibración. De acuerdo a la disposición de las hendiduras, la temperatura disminuye gradualmente a medida que los puntos se acercan al disipador.
- Se considera que el punto 22 tiene una temperatura muy cercana a la del medio ambiente.
- El tanque de calibración consiste simplemente en un recipiente cilíndrico unido a una pinza que lo sujeta a la barra de calentamiento.
- El sensor de temperatura y el termómetro patrón se introducen en el tanque junto con una cantidad pequeña de agua a fin de que la temperatura sea uniforme.
- Este arreglo se instala sobre diversos puntos de la barra para generar las diferentes temperaturas de prueba.

- b) Coloque el tanque de calibración en los puntos indicados en la Tabla 1 esperando aproximadamente 10 minutos, cada vez que se cambie la posición para que la temperatura se estabilice. Tome las lecturas que se indican.

TABLA 1

PUNTOS	TEMPERATURA °C	VOLTAJE V _{AB} mV
22		
18		
13		
7		
2		

ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- ¿Cuál es la sensibilidad del puente?
- 2.- ¿Qué voltaje aplicó al puente?
- 3.- ¿Para qué valores de R₃ verificó la sensibilidad del puente?
- 4.- ¿Cuáles son los valores de R₁, R₂, R₃ y R₄ para que el puente esté en equilibrio?
- 5.- ¿Cuál es el valor de R'₃₀ ?
- 6.- ¿A qué temperatura está el puente en equilibrio?
- 7.- ¿Qué procedimiento tiene que realizar para que el transductor marque 0 V a la temperatura de 0 °C ?
- 8.- ¿Si el voltmetro marca un voltaje negativo, que indica ?
- 9.- Calcule la sensibilidad real del transductor para cada uno de los puntos de la tabla 1 y compárela con la especificada.
La sensibilidad se puede obtener mediante la relación de los gradientes de voltaje entre los correspondientes gradientes de temperatura.
- 10.- Proponga un transductor similar al construido, el cual detecte una variable física y presente el valor proporcional en voltaje.