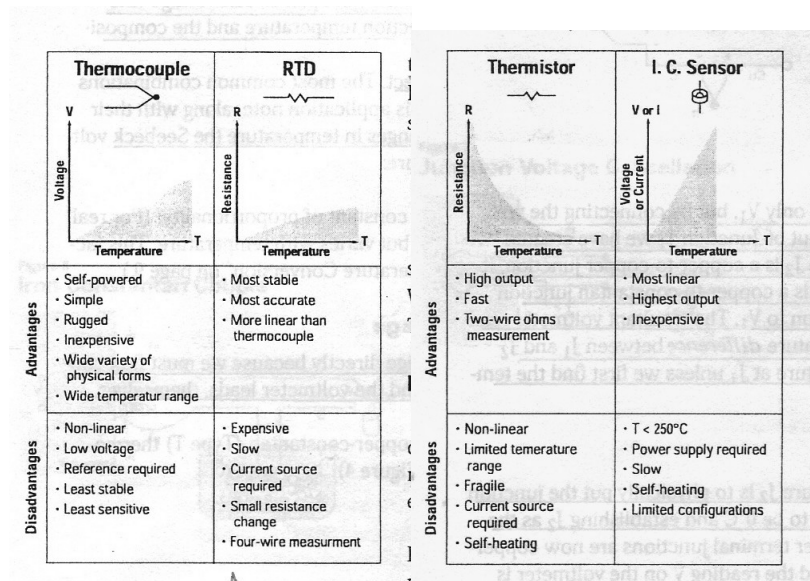


Medidas prácticas de temperatura (apuntes 2do parcial de Electrónica)



Nos centraremos en los 4 transductores de temperaturas más comunes: la termocupla, el RTP (resistencia detectora de temperatura), el termistor y el circuito sensor integrado:

Transductor	Ventajas (+)	Desventajas (-)
<i>Termocupla</i>	Auto-alimentado Simple, rugoso - versátil Bajo costo Gran variedad de formas Muy amplio rango de temperaturas	No-lineal Bajo voltaje Requiere referencia El menos estable El menos sensible
<i>RTD</i>	El más estable El más preciso Más lineal que la termocupla	Alto costo Lento Requiere fuente de corriente Poco cambio en la resistencia Medida con puente (4 cables)
<i>Termistor</i>	Alta salida Rápido El más sensible Medición con dos cables	No-lineal Rango de temperaturas limitado Frágil Requiere fuente de corriente Auto-calentamiento
<i>Circuito sensor integrado</i>	El más lineal La salida más alta Bajo costo	$T_{\text{trabajo}} < 250^{\circ}\text{C}$ Requiere fuente de alimentación Lento Auto-calentamiento Configuraciones limitadas

> TERMOCUPLAS

The Thermocouple

Figure 2
The Seebeck Effect

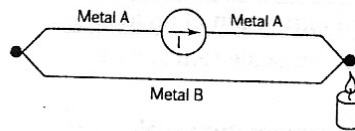
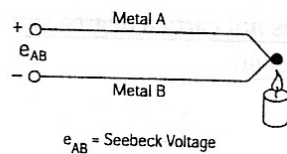


Figure 3



Cuando dos alambres compuestos por distintos materiales se unen en ambas puntas y una de ellas es calentada aparece una corriente continua que fluye en el circuito **termoeléctrico**. Thomas Seebeck hizo este descubrimiento en 1821 (ver figura 2).

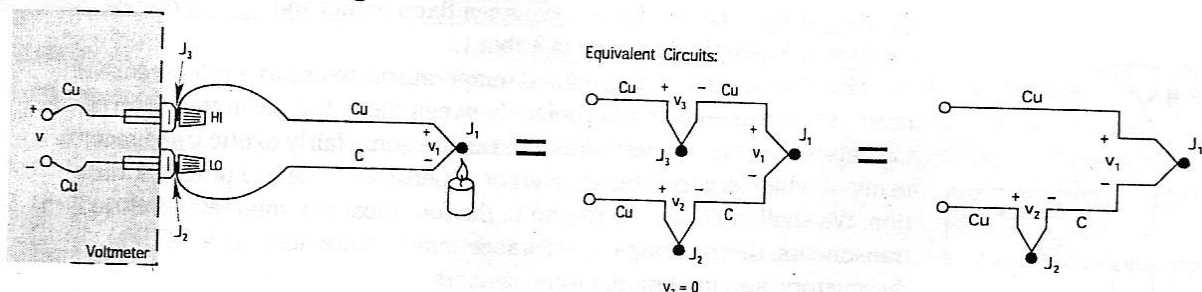
Si el circuito se abre en algún punto, el voltaje de circuito abierto (la tensión de Seebeck) es función de la temperatura de la unión y la composición de los dos metales (ver figura 3).

Todos los metales distintos exhiben este efecto. Para pequeños cambios en la temperatura el voltaje de Seebeck es linealmente proporcional con la temperatura:

$$E_{ab} = \alpha T$$

No podemos medir el voltaje de Seebeck directamente porque debemos primero conectar un voltímetro a la termocupla y este crea un nuevo circuito termoeléctrico.

Measuring Junction Voltage with a DVM



Nos gustaría que el voltímetro sólo leyera V_1 , pero al conectar el voltímetro en un intento para medir la salida de la unión J_1 hemos creado dos uniones metálicas más: J_2 y J_3 . Como la unión J_3 es una unión cobre-cobre, la FEM que se genera es nula, pero la unión J_2 es cobre-constantan y va a agregar una FEM V_2 opuesta a V_1 . La lectura resultante del voltímetro V va a ser proporcional a la diferencia de temperatura entre J_1 y J_2 . Esto nos habla de que no podemos encontrar la temperatura de J_1 a menos que encontremos primero la J_2 .

(La unión de referencia)

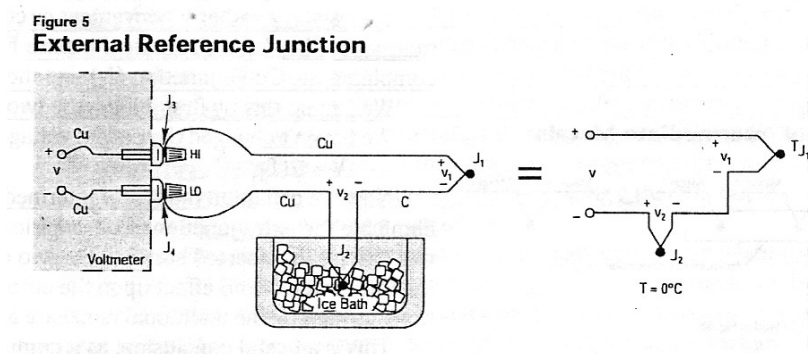
Una forma de determinar la temperatura J_2 es físicamente poner la unión en un baño de hielo, forzando su temperatura a ser 0°C y estableciendo J_2 como una **unión de referencia**.

Así, la lectura del voltímetro resulta:

$$V = (V_1 - V_2) = \alpha(T_{J_1} - T_{J_2})$$

Y luego V se convierte en:

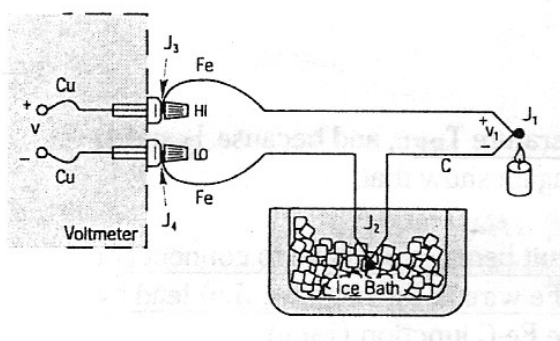
$$\begin{aligned} V = V_1 - V_2 &= \alpha[(T_{J_1} + 273.15) - (T_{J_2} + 273.15)] \\ &= \alpha(T_{J_1} - T_{J_2}) \\ &= \alpha(T_{J_1} - 0) \end{aligned}$$



Esta función es para hacer énfasis en el hecho de que **la unión de baño de hielo de la salida V_2 no es de cero volts sino que es función de la temperatura absoluta**. Al agregar el voltaje de la unión de referencia del punto de hielo tenemos ahora una lectura de referencia de voltaje a 0°C . Este método es muy preciso porque la temperatura de punto de hielo puede ser precisamente controlada.

La termocupla cobre-constantan mostrada en la figura 5 es un ejemplo único porque el cable de cobre es del mismo metal que los terminales del voltímetro. Un ejemplo más general sería utilizar una termocupla hierro-constantan. El cable de hierro incrementa el número de uniones de metales distintos (incrementando las FEM que afectan la medida final) (ver figura 6)

Figure 6
Iron Constantan Couple



Este circuito todavía va a proveer medidas bastante precisas siempre y cuando el voltímetro de terminales alto y bajo (J_3 y J_4) actúen en oposición. Si los dos terminales no están a la misma temperatura va a haber un error. Para una medida más precisa, el voltímetro de cobre debería ser extendido para que la unión cobre-hierro se configuren en un bloque isotérmico (de la misma temperatura)

El bloque isotérmico es un aislante eléctrico aunque un buen conductor del calor y sirve para mantener las uniones J_3 y J_4 a la misma temperatura. Así se mantiene que:

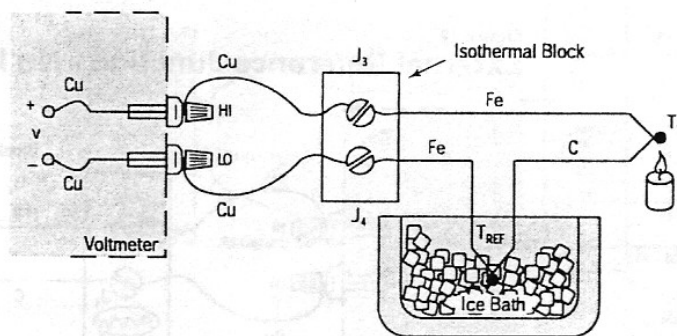
$$V = \alpha(T_{j1} - T_{ref})(I)$$

(el circuito de referencia)

Sería bueno poder eliminar el baño de hielo por su naturaleza impráctica. Este baño de hielo se puede reemplazar por otro bloque isotérmico (ver figura 8)

Figure 8

Removing Junctions from DVM Terminals

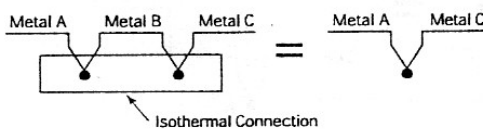


El nuevo bloque está a la temperatura de referencia T_{ref} y como J_3 y J_4 tmb están a la misma temperatura, el resultado sigue siendo (I). Esto sigue siendo un inconveniente porque tenemos que conectar dos termocuplas. Lo que podemos hacer es eliminar el alambre de hierro extra combinando la unión J_4 (cobre-hierro) y la de unión de referencia (J_{ref}). Podemos hacer esto uniendo los dos bloques isotérmicos.

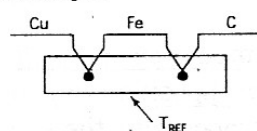
Ahora tenemos que utilizar la llamada “ley de los metales intermedios”

Figure 10

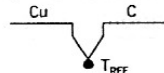
Law of Intermediate Metals



Thus the low lead in Fig. 9b:



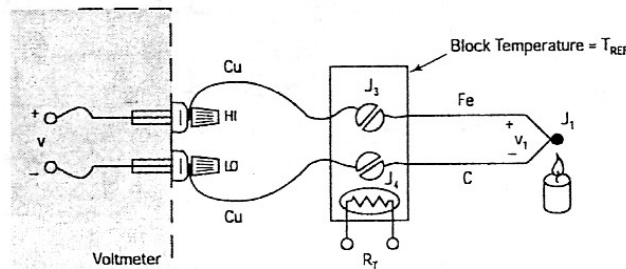
Becomes:



Esta ley empírica afirma que **un tercer metal (en este caso, hierro) insertado entre dos metales distintos en una unión no tendrá efecto en el voltaje de salida siempre que las dos uniones formadas por el metal adicional estén a la misma temperatura.** Esta conclusión tan útil elimina completamente la necesidad del alambre de hierro.

Las uniones J_3 y J_4 toman el lugar del baño de hielo convirtiéndose en la unión de referencia. Ahora podemos pasar al siguiente paso lógico: directamente medir la temperatura del bloque isotérmico (la unión de referencia) y usar esta información para computar la temperatura desconocida T_{j1} (figura 12)

Figure 12
External Reference Junction - No Ice Bath



Un termistor, cuya resistencia R_t es función de la temperatura, provee el método para medir la temperatura absoluta de la unión de referencia. Las uniones J_3 y J_4 y el termistor se asume que están a la misma temperatura debido al diseño del bloque isotérmico. Usando un multímetro digital lo que hacemos es

1. Medir R_t para hallar T_{ref} y convertirla a su equivalente en voltaje
2. Medir V y agregar T_{ref} para encontrar V_1 convertirla a T_{j1} (que es la temperatura que finalmente queremos conocer)

Este procedimiento es conocido como **compensación por software** porque **se basa en un instrumento o computadora para compensar el efecto creado por la temperatura de referencia**. El sensor de temperatura del bloque isotérmico puede ser cualquier dispositivo que tiene una característica proporcional a la temperatura absoluta: un RTD, un termistor o un circuito sensor integrado.

La pregunta lógica que uno se haría es: *¿por qué si ya tenemos un dispositivo que mide temperatura absoluta como un termistor o un RTD nos molestamos en conectar una termocupla que requiere compensación por la unión de referencia?* Lo cierto es que **la termocupla, en principio, funciona con un rango muchísimo más amplio de temperaturas que el resto de los aparatos y puede optimizarse para varias atmósferas de distinta naturaleza**. Por otro lado, son **fáciles de fabricar y de bajo costo** (es cuestión de soldar o de alguna manera unir dos metales de distinta composición química) y son **muy sencillas de utilizar ya que la compensación por software hace realmente todo el trabajo pesado**.

La medición por termocupla se hace **especialmente conveniente cuando se requiere monitorear una gran serie de puntos (se puede conectar en secuencia)**. Además si se conoce de qué tipo de termocupla se trata, pueden mezclarse los tipos de termocupla en un mismo bloque isotérmico.

La compensación por software es la técnica más versátil para medir termocuplas y la es independiente del tipo de termocupla elegida. La gran desventaja es que se requiere una **pequeña cantidad de tiempo adicional** para calcular la temperatura de unión de referencia. La máxima velocidad se encuentra con la **compensación por hardware**.

Podríamos insertar una batería para cancelar el voltaje extra creado por la unión de referencia. La combinación del voltaje de la compensación por hardware y de la temperatura de referencia es equivalente a una unión a 0°C . La mayor desventaja de este tipo de compensaciones que un único circuito de referencia de punto de hielo es usado para cada tipo individual de termocupla.

Su mayor ventaja reside en el hecho de que **eliminamos la necesidad de tener que computar la temperatura de referencia**. Esto nos salva de dos cálculos haciendo que esta compensación sea mucho más rápida.

La figura siguiente resume las ventajas y desventajas de cada tipo de compensación:

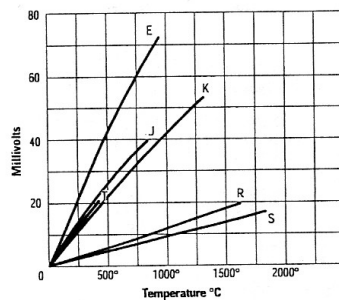
Table 2

Hardware Compensation	Software Compensation
• Fast • Restricted to one thermocouple type per reference junction • Hard to reconfigure – requires hardware change for new thermocouple type	• Requires more software manipulation time • Versatile – accepts any thermocouple • Easy to reconfigure

(conversión voltaje-temperatura)

Desafortunadamente, la curva de temperatura vs. voltaje no es lineal para la mayoría de las termocuplas. Una línea horizontal en la figura 17 indicaría una constante α (es decir, un dispositivo lineal).

Figure 16
Thermocouple Temperature vs. Voltage Graph



Type	Metals
E	Chromel vs. Constantan
J	Iron vs. Constantan
K	Chromel vs. Alumel
R	Platinum vs. Platinum 13% Rhodium
S	Platinum vs. Platinum 10% Rhodium
T	Copper vs. Constantan

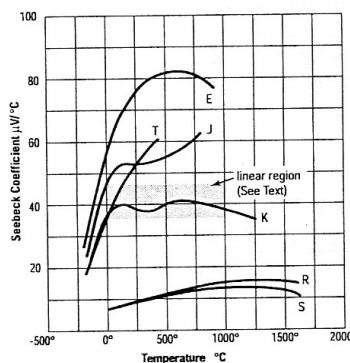
Notar que la termocupla tipo K se acerca bastante bien a una constante en un rango de temperatura que va desde los 0°C a los 100°C (esto la hace uno de los más usadas).

Así, para aproximar las tablas se utilizan series de polinomios de orden n . A medida que n se incrementa, la precisión del polinomio se incrementa, aunque los polinomios de orden bajo (utilizados en rangos de temperaturas estrechos) pueden ser usados para obtener respuestas del sistema veloces.

El cálculo de polinomios de alto orden es una tarea que consume demasiado tiempo, incluso para los procesadores actuales. Para salvar tiempo los software se pueden configurar (y de hecho se suele hacer) para utilizar polinomios de bajo orden para pequeños rangos de temperaturas y unirlos en ciertos puntos o sectores de referencia.

Un algoritmo mucho más rápido es usar una gran cantidad de sectores con polinomios de muy bajo orden de tal forma de lograr cientos, o incluso miles, de cálculos internos por segundo.

Figure 17
Seebeck Coefficient vs. Temperature



(técnicas contra ruido)

Incluso para las termocuplas tipo K, que son las más comunes, el voltímetro debe leer resolver 4 μV para detectar un cambio en 0.1°C . Esto demanda ambos una excelente resolución (cuanto más bits, mejor) y una medida muy precisa por parte del multímetro digital. **La magnitud tan pequeña de esta señal es una invitación abierta para que el ruido se infiltre en cualquier sistema.** Por esta razón los diseñadores del instrumental utilizan alguna técnicas de rechazo de ruido que son:

1. Tree switching (cambio de canal)
2. normal mode filtering (filtro de tensión de modo normal)
3. integración
4. aislamiento

Tree switching: se organizan los canales del scanner en grupos, cada uno con su switch (llave) personal. Con este método las capacitancia de canales paralelos se encuentran en serie con una única capacitancia. El resultado es una reducción importante del ruido en sistema de adquisiciones de datos debido a que se reduce la capacitancia entre canales

Filtro análogo (rechazo de modo común): un filtro se puede utilizar directamente a la entrada del voltímetro para reducir el ruido. Reduce la interferencia drásticamente pero provoca que el voltímetro responda de manera mas lenta.

Integración: es una técnica A/D que esencialmente promedia el sonido sobre un ciclo completo, así el ruido proveniente la línea de alimentación y sus armónicos queda completamente eliminado. Como el circuito de una termocupla que cubre distancias largas es especialmente susceptible a ruido de la línea se recomienda usar un converso integrador de análogo a digital para medir el voltaje de la termocupla.

Aislamiento: una fuente común de ruido para todo tipo de mediciones es conocida como ruido de modo común. La entrada aislada ayuda a reducir este ruido mientras protege el sistema de mediciones de imperfecciones del terreno.

Supongamos que el cable de la termocupla está conectado a algún dispositivo que se alimenta a 220V de CA. La capacitancia entre la línea de alimentación y la termocupla va a crear una señal CA de igual una magnitud semejante en ambos cables de la termocupla. Esto no es un problema en un circuito ideal, pero en uno real existe una cierta capacidad entre los terminales y la referencia a tierra. La corriente fluye a través de esta capacitancia y a través de la termocupla creando una señal de modo normal que aparece, como resultado, como una medida errónea en la termocupla.

Este error se reduce ampliamente aislando el terminal de entrada de la referencia a tierra con un diseño cuidadoso que minimice la capacitancia terminales-tierra.

(precauciones prácticas)

La mayoría de los errores de medición pueden ser rastreados a una de estas fuentes primarias:

1. Conexión de uniones pobres
2. Descalibración de los alambre de la termocupla
3. Cortocircuito de la impedancia y acción galvánica
4. "Cortocircuito" térmico
5. Corrientes de ruido y de perdidas
6. Especificaciones técnica de la termocupla
7. Documentación

Conexión de uniones pobres.

Hay un buen número de formas aceptables de conectar dos alambres de termocuplas, el más popular es la soldadura en sus distintos tipos:

* Soldering: soldadura entre dos piezas usando un metal de bajo punto de fusión. Sólo se derrite el metal a aplicar, no las piezas a unir. Se usa un caudí o hierro de soldadura que calienta el metal a aplicar. Se le podría llamar SOLDADURA BLANDA en español.

* Brazing: soldadura entre dos piezas usando un metal con un punto de fusión más alto que en el soldering. Sólo se derrite el metal a aplicar, no las piezas a unir. Se usa temperaturas más altas que en el soldering, pero no encontré con qué equipos. Se le podría llamar SOLDADURA FUERTE o DURA en español.

* Welding: soldadura entre dos piezas usando un metal con un punto de fusión más alto inclusive que en brazing. En este caso también se derriten las piezas a unir en los puntos donde se aplica calor, y por ende se usa temperaturas más altas. Se usan arcos eléctricos, gas, etc. SOLDURA POR FUSION

Cuando un par de alambres son soldados introducimos un tercer metal al circuito de la termocupla. Mientras la temperatura en ambos lados sea la misma, la soldadura no debería introducir error (ley de los metales intermedios). En ciertos casos en que los cables deban ser soldados por fusión (welding) se debe tener cuidado dado que el sobrecalentamiento que puede dañar el alambre, difundir el metal o cambiar sus características mecánicas

Descalibración de los alambres de la termocupla.

Puede resultar en una lectura de la temperatura que parecer correcta y ser en realidad errónea. La descalibración describe el proceso por el cual si intención se altera la forma y característica original de los alambres de la termocupla de tal forma que ya no cumple con los requisitos y límites especificados en la norma.

Puede causarse por difusión de partículas atmosféricas en el metal, causada por temperaturas extremas. Por otro lado, los cables de la termocupla no son perfectos, obviamente. Por esta razón van a existir defectos que causen errores de medición de voltaje a la salida. Algo que se debe evitar es evadir crear grandes escalones de gradientes de temperatura. Los gradientes de temperatura se pueden reducir utilizando mangas protectoras metálicas, por ejemplo.

Cortocircuito de la impedancia y acción galvánica.

Las altas temperaturas también afectan la termocupla reduciendo la resistencia, incluso al punto de crear una unión virtual. Los efectos atmosféricos pueden ser minizados escogiendo un aislante adecuado para cada termocupla.

Con respecto a la acción galvánica, la tinta usada en algunos aislantes puede formar un electrolito en presencia de agua u otros medios líquidos. Esto produce un efecto galvánico (una tensión) que es muchas veces más grande que el efecto Seebeck.

Cortocircuito térmico.

Ninguna termocupla se puede lograr sin masa. **Debido a que requiere energía para calentar cualquier masa, la termocupla va a alterar de alguna manera la temperatura que se quiera medir.** Si la masa es pequeña, naturalmente el efecto será pequeño. Pero una termocupla creada con un pequeño cable es mucho más susceptible a problemas de contaminación, deformación, cortocircuito, etc. (existe una relación de compromiso en ese sentido). Para minimizar esos efectos se pueden usar cables extensores que cubren largas distancias entre la medición de la termocupla y el voltímetro.

Los cables de extensión son fabricados con metales de coeficientes de seebeck muy similares a los de la termocupla en cuestión y es generalmente mayor en tamaño de tal forma que la resistencia no juegue en contra al recorrer distancias largas.

Como el cable extensor es especificado para un pequeño rango de temperaturas y se ve sometido a deformación mecánicas, el gradiente de temperatura a lo largo del alambre debe mantenerse al mínimo.

Corrientes de ruido y de pérdidas.

Ya se ha discutido el tema del ruido referido a la línea y sus inconvenientes. El único tipo de ruido que un sistema de adquisición de datos no puede rechazar es uno de corriente continua causado por una pérdida de corriente continua en el sistema (aunque es poco común puede causar grandes errores de medición, especialmente si los alambres son muy pequeños)

Especificaciones técnicas de la termocupla y documentación.

Los sistemas de termocupla tiende a obtener muchos puntos de medición. Una mala de lectura de los mismos es bastante probable. Se hace hincapié en la importancia de mantener registros confiables de los datos.

(diagnósticos)

La mayoría de los errores mencionados se agravan cuando se usan las termocuplas con temperaturas cercanas al límite. Hay 3 componentes que sirven para poder hacer un diagnostico sobre el estado de la termocupla:

1. Registro de los eventos (obvio, no necesita mucha aclaración)
2. Ensayo de la zone-box
3. Historia de la resistencia de la termocupla

La zone box es una terminal de bloque isotérmico con una temperatura conocida usado en reemplazo del baño de hielo. Si temporalmente hacemos cortocircuito de la termocupla directamente en la zone box, el sistema debería leer una temperatura muy cercana a esta. Este ensayo chequea que todo esta calibrado y funcionando correctamente, excepto los cables de la termocupla en sí.

Para controlar los alambres se suele medir la resistencia de los mismos. **Un cambio repentino en el circuito de la termocupla es un indicador de peligro.** Si graficamos resistencia vs. tiempo en un buen numero de cables de termocuplas podemos rápidamente notar un cambio en la resistencia. **Esto podría indicar un cable abierto, una mala aislamiento o alguna falla del tipo mecánica (como fatiga).** Si se tiene un historial de los alambres de la termocupla se puede deducir que fue lo que realmente ocurrió.

(la resistencia de la termocupla va a cambiar naturalmente por efecto del tiempo y variaciones de temperatura pero una caída abrupta indica que hay algo que anda mal)

En resumen **la integridad de la termocupla** puede mejorarse siguiendo las siguientes recomendaciones:

- Usar el cable más grande posible
- Si se requiriera un cable pequeño, usarlo solo en la región de medición y para la extensión donde no haya gradientes de temperatura
- Evitar deformaciones mecánicas y vibraciones
- Al usar cables largos, asegurarse que estén correctamente cubiertos y aislados
- Evitar grandes gradientes de temperatura
- No trabajar con las temperaturas extremas de cada tipo de termocupla y materiales
- Usar un conversor integrador A/D de alta resolución y buena precisión
- Aislar las entradas
- Mantener registro continuo de las acciones llevadas a cabo, eventos y adquisiciones de datos
- etc....

> RTD

El mismo año que Seebeck hizo su descubrimiento sobre la termoelectricidad, Sir Davy anuncio que **la resistividad de los metales tiene una dependencia marcada con la temperatura.** 50 años después Siemens uso platino como elemento para un termómetro de resistencia. Su elección se debió al hecho de que **el platino puede soportar altas temperaturas mientras mantiene excelente estabilidad. Por otro lado al ser un metal noble exhibe una buena protección contra la contaminación.** Por todas estas razones comenzó a utilizarse al platino como un patrón de referencia por sobre otros metales

RTD significa “resistance temperature detector” (resistencia detectora de temperatura). El primer RTD conocido fue creado con platino y consistía en una espiral de dicho metal en una red cruzada y montada en un tubo de vidrio. La construcción minimizaba los esfuerzos en los cables mientras maximizaba la resistencia.. El problema era que el contacto térmico entre el platino y el punto a medir era muy pobre (por lo tanto, la respuesta era muy lenta).

El próximo modelo fue el de **jaula de pájaro** creado por Evans y Burns. El elemento de platino quedaba mayoritariamente libre de tal forma que podía expandirse o contraerse tranquilamente con variaciones de temperatura.

(RTD con películas de metal)

En las nuevas técnicas de construcción, una película de platino u otro metal se deposita en un sustrato de cerámico pequeño y chato, sellado. El tiempo de construcción se reduce significativamente (se pueden producir en forma continua) y tiene la ventaja de una resistencia incrementada. Son menos estables que sus contrapartes hechos de cables pero se han vuelto más populares por su diseño pequeño y ergonómico y las ventajas en costos de producción.

Todos los metales producen un cambio positivo en la resistencia por un cambio positivo en la temperatura (este es el principio de funcionamiento básico del RTD). Los errores de sistema se minimizan cuando el valor nominal de la resistencia del RTD es grande. Esto implica **utilizar para los RTD un cable de metal con alta resistividad, cuando más chica sea la resistividad del material, más se deberá utilizar.**

Por esta razón los materiales más usados para un RTD son Cobre (resistividad = 9.26), Níquel (resistividad = 36) y Platino (resistividad = 59). El tungsteno (30) se reserva para muy altas temperaturas porque es muy frágil y dificultoso para trabajar.

El cobre es usado ocasionalmente por su linealidad frente a la temperatura y su bajo costo. La gran mayoría usa platino como elemento constitutivo (ejemplo PT100)

(medida de la resistencia)

Los valores comunes para una resistencia de un RTD de platino varían desde los 10 ohms para el modelo de jaula de pájaro hasta miles en un RTD con película (o capa) de metal.

Los sensores RTD suelen ir asociados a montajes eléctricos tipo **Puente de Wheatstone**, que responden a la variación de la resistencia eléctrica por efecto de la temperatura para originar una señal analógica de 4-20 mA que es la que se utiliza en el sistema de control correspondiente como señal de medida.

El voltaje de salida del puente es una indicación indirecta de la resistencia del RTD. El puente requiere cuatro cables de conexión, una fuente externa y 3 resistores que tengan un coeficiente de temperatura cero. El problema es que estos cables del puente crean el problema de que afectan la temperatura de lectura debido a la existencia de una impedancia en ellos.

El puente de Wheatstone con 4 cables resuelve la mayoría de los problemas asociados a un puente. El voltaje de salida leído con el multímetro es directamente proporcional a la resistencia del RTD y así sólo se necesita una ecuación de conversión.

(conversión de resistencia a temperatura)

Los RTD son sensores de temperatura resistivos. En ellos **se aprovecha el efecto que tiene la temperatura en la conducción de los electrones para que, ante un aumento de temperatura, haya un aumento de la resistencia eléctrica que presentan.** Este aumento viene expresado como:

$$R = R_0 \left[1 + AT + BT^2 - 100CT^3 + CT^4 \right]$$

donde:

R es la resistencia a una temperatura de T°C

R0 es la resistencia a 0°C

T es la temperatura

Este efecto suele aproximarse a un sistema de primer o segundo orden para facilitar los cálculos. **El RTD es un dispositivo más lineal que la termocupla, pero aún así requiere que se ajuste la curva.** Existen muchas ecuaciones polinomiales que aproximan de forma muy precisa los valores de resistencia del RTD, la más popular es la de Van Dunsen.

Termo- resistencias Platino (Pt)

Un tipo de RTD son las Pt100 o Pt1000. Estos sensores deben su nombre al hecho de estar fabricados de platino (Pt) y presentar una resistencia de 100ohms o 1000ohms respectivamente a 0°C.

Tolerancias comerciales según norma IEC 751:1995 :

Pt100 Clase A $\pm 0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ [$0\text{ }^{\circ}\text{C}$] $\pm 0,06\text{ }\Omega$ [$0\text{ }^{\circ}\text{C}$]
Pt100 Clase B $\pm 0,30\text{ }^{\circ}\text{C}$ [$0\text{ }^{\circ}\text{C}$] $\pm 0,12\text{ }\Omega$ [$0\text{ }^{\circ}\text{C}$]

(precauciones prácticas)

Las mismas consideraciones de termocuplas deben tenerse con los RTD, por ejemplo usar protecciones, evitar deformaciones y grandes saltos en gradientes de temperaturas, usar cables de extensión largos y gruesos, tener buena documentación, etc. Además, estas otras precauciones deben tenerse en cuenta:

- Construcción: los RTD son más frágiles que las termocuplas y se deben tomar precauciones para protegerlos
- Auto-calentamiento: a diferencia de las termocuplas, los RTD no se auto-alimentan. Una corriente debe pasar a través del dispositivo para proveer el voltaje necesario. La corriente provoca efecto Joule en los cables alterando la temperatura del RTD y esto se traduce en errores de medición de temperatura. Para reducir los errores por auto-calentamiento hay que usar la mínima corriente que de la resolución requerida y el RTD más grande posible (aunque se pierde velocidad de respuesta – relación de compromiso)
- Cortocircuito térmico: es el mismo caso que en las termocuplas pero se debe tener más cuidado por el tamaño físico más grande de los RTD
- FEM térmica: la conexión platino-cobre que se genera cuando conectamos un RTD puede causar un voltaje térmico no deseado. Se pueden usar técnicas de compensación para eliminar este efecto.

> TERMISTOR

Como el RTD, el termistor es también un resistor sensible a la temperatura. Mientras que la termocupla es el transductor de temperatura más versátil, **la palabra que mejor describe al termistor es “sensibilidad”.** El termistor exhibe por lejos el mayor parámetro de cambio con la temperatura.

Los termistores suelen estar **compuestos por materiales semiconductores**. La mayoría de ellos tienen un **coeficiente de temperatura negativo** (termistores NTC), esto es, su resistencia decrece con la temperatura. Esto permite **detectar cambios minuto a minuto** en la temperatura que no podrían ser observados con un RTD o con una termocupla. El precio que pagamos por esta sensibilidad incrementada es una **perdida de linealidad**. El termistor es un dispositivo **extremadamente no-lineal y es altamente dependiente de los parámetros del proceso**. Consecuentemente, los fabricantes no han extendido curvas estandarizadas; esto es: **no existen Standards para los termistores como sí hay para RTD y termocupla**.

Una curva de termistor individual puede ser aproximada con bastante precisión a través de la ecuación de Steinhart-Hart

(medición)

La alta resistividad del termistor brinda una distinguida ventaja en la medición. La medición con resistencias de cuatro cables (puentes) puede no ser requerida así como en el RTD. En general el error en la medición de un termistor es 500 veces menos que el equivalente error en el RTD. Exhibe, sin embargo, un buen número de desventajas también.

Por estar compuestos por termocuplas, **los termistores son más susceptibles a descalibraciones a altas temperaturas que los RTD y las termocuplas**. El uso de los **termistores está muchas veces limitado a unos cientos de grados centígrados**. Temperaturas incluso por debajo de sus límites de operación puede causar que un termistor se vaya de su tolerancia especificada.

Los termistores pueden hacerse muy pequeños lo que significa que responderán muy rápidamente a cambios de temperatura (muy alta velocidad de respuesta) pero esto tmb significa que tienen muy poca masa. Esto hace que sean **susceptibles a errores de auto-calentamiento y son más frágiles que los RTD y las termocuplas** por lo que hay que tener mucho cuidado al montarlos para evitar romperlos.