

4. INSTRUMENTACIÓN BÁSICA

4.1. Tipos de instrumentos de medición

son todo los aparatos que se utilizan para medir la intensidad o resistencia de un flujo electromagnético o que utilizan esta energía para realizar algún tipo de medición como el voltímetro el amperímetro sin embargo también podemos utilizar instrumentos eléctricos para medir la rugosidad, palpadores, inyectoros de señal etc.

4.1.1. Instrumentos eléctricos

La importancia de los instrumentos eléctricos de medición es incalculable, ya que mediante el uso de ellos se miden e indican magnitudes eléctricas, como corriente, carga, potencial y energía, o las características eléctricas de los circuitos, como la resistencia, la capacidad, la capacitancia y la inductancia. Además que permiten localizar las causas de una operación defectuosa en aparatos eléctricos en los cuales, como es bien sabidos, no es posible apreciar su funcionamiento en una forma visual, como en el caso de un aparato mecánico.

La información que suministran los instrumentos de medición eléctrica se da normalmente en una unidad eléctrica estándar: ohmios, voltios, amperios, culombios, henrios, faradios, vatios o julios.

Sensibilidad de los instrumentos:

La sensibilidad de un instrumento se determina por la intensidad de corriente necesaria para producir una desviación completa de la aguja indicadora a través de la escala. El grado de sensibilidad se expresa de dos maneras, según se trate de un amperímetro o de un voltímetro.

En el primer caso, la sensibilidad del instrumento se indica por el número de amperios, miliamperios o microamperios que deben fluir por la bobina para producir una desviación completa. Así, un instrumento que tiene una sensibilidad de 1 miliamperio, requiere un miliamperio para producir dicha desviación, etcétera.

En el caso de un voltímetro, la sensibilidad se expresa de acuerdo con el número de ohmios por voltio, es decir, la resistencia del instrumento. Para que un voltímetro sea preciso, debe tomar una corriente insignificante del circuito y esto se obtiene mediante alta resistencia.

El número de ohmios por voltio de un voltímetro se obtiene dividiendo la resistencia total del instrumento entre el voltaje máximo que puede medirse. Por ejemplo, un instrumento con una resistencia interna de 300000 ohmios y una escala para un máximo de 300 voltios, tendrá una sensibilidad de 1000 ohmios por voltio. Para trabajo general, los voltímetros deben tener cuando menos 1000 ohmios por voltio.

Las mediciones eléctricas se realizan con aparatos especialmente diseñados según la naturaleza de la corriente; es decir, si es alterna, continua o pulsante. Los instrumentos se clasifican por los parámetros de voltaje, tensión e intensidad.

De esta forma, podemos enunciar los instrumentos de medición como el Amperímetro o unidad de intensidad de corriente. El Voltímetro como la unidad de tensión, el Ohmiómetro como la unidad de resistencia y los Multímetros como unidades de medición múltiples.

a.- Galvanómetro

Los galvanómetros son aparatos que se emplean para indicar el paso de corriente eléctrica por un circuito y para la medida precisa de su intensidad.

Suelen estar basados en los efectos magnéticos o térmicos causados por el paso de la corriente.

En el caso de los magnéticos pueden ser de imán móvil o de cuadro móvil.

En un galvanómetro de imán móvil la aguja indicadora está asociada a un imán que se encuentra situado en el interior de una bobina por la que circula la corriente que tratamos de medir y que crea un campo magnético que, dependiendo del sentido de la misma, produce una atracción o repulsión del imán proporcional a la intensidad de dicha corriente.

En el galvanómetro de cuadro móvil el efecto es similar, difiriendo únicamente en que en este caso la aguja indicadora está asociada a una pequeña bobina, por la que circula la corriente a medir y que se encuentra en el seno del campo magnético producido por un imán fijo.

En el diagrama de la derecha está representado un galvanómetro de cuadro móvil, en el que en rojo se aprecia la bobina o cuadro móvil y en verde el resorte que hace que la aguja indicadora vuelva a la posición de reposo una vez que cesa el paso de corriente. En el caso de los galvanómetros térmicos, lo que se pone de manifiesto es el alargamiento producido, al calentarse por el Efecto Joule al paso de la corriente, un hilo muy fino arrollado a un cilindro solidario con la aguja indicadora. Lógicamente el mayor o menor alargamiento es proporcional a la intensidad de la corriente.

b.- Amperímetro:

Es el instrumento que mide la intensidad de la Corriente Eléctrica. Su unidad de medida es el Amperio y sus Submúltiplos, el miliamperio y el micro-amperio. Los usos dependen del tipo de corriente, ósea, que cuando midamos Corriente Continua, se usara el amperímetro de bobina móvil y cuando usemos Corriente Alterna, usaremos el electromagnético.

El Amperímetro de C.C. puede medir C.A. rectificando previamente la corriente, esta función se puede destacar en un Multímetro. Si hablamos en términos básicos, el Amperímetro es un simple galvanómetro (instrumento para detectar pequeñas cantidades de corriente) con una resistencia paralela llamada Shunt. Los amperímetros tienen resistencias por debajo de 1 Ohmio, debido a que no se disminuya la corriente a medir cuando se conecta a un circuito energizado.

La resistencia Shunt amplía la escala de medición. Esta es conectada en paralelo al amperímetro y ahorra el esfuerzo de tener otros amperímetros de menor rango de medición a los que se van a medir realmente.

c.- El Voltímetro:

Es el instrumento que mide el valor de la tensión. Su unidad básica de medición es el Voltio (V) con sus múltiplos: el Megavoltio (MV) y el Kilovoltio (KV) y sub.-múltiplos como el milivoltio (mV) y el micro voltio. Existen Voltímetros que miden tensiones continuas llamados voltímetros de bobina móvil y de tensiones alternas, los electromagnéticos.

Sus características son también parecidas a las del galvanómetro, pero con una resistencia en serie. Dicha resistencia debe tener un valor elevado para

limitar la corriente hacia el voltímetro cuando circule la intensidad a través de ella y además porque el valor de la misma es equivalente a la conexión paralela aproximadamente igual a la resistencia interna; y por esto la diferencia del potencial que se mide ($I_2 \times R$) no varía.

Ampliación de la escala del Voltímetro

El procedimiento de variar la escala de medición de dicho instrumento es colocándole o cambiándole el valor de la resistencia R_m por otro de mayor Ohmeaje, en este caso.

d.- El Ohmímetro:

Es un arreglo de los circuitos del Voltímetro y del Amperímetro, pero con una batería y una resistencia. Dicha resistencia es la que ajusta en cero el instrumento en la escala de los Ohmios cuando se cortocircuitan los terminales. En este caso, el voltímetro marca la caída de voltaje de la batería y si ajustamos la resistencia variable, obtendremos el cero en la escala. Generalmente, estos instrumentos se venden en forma de Multímetro el cual es la combinación del amperímetro, el voltímetro y el Ohmímetro juntos. Los que se venden solos son llamados medidores de aislamiento de resistencia y poseen una escala bastante amplia.

e.- Electrodinamómetros:

Sin embargo, una variante del galvanómetro, llamado electrodinamómetro, puede utilizarse para medir corrientes alternas mediante una inclinación electromagnética. Este medidor contiene una bobina fija situada en serie con una bobina móvil, que se utiliza en lugar del imán permanente del galvanómetro. Dado que la corriente de la bobina fija y la móvil se invierte en el mismo momento, la inclinación de la bobina móvil tiene lugar siempre en el mismo sentido, produciéndose una medición constante de la corriente. Los medidores de este tipo sirven también para medir corrientes continuas.

f.- Medidores de aleta de hierro:

Otro tipo de medidor electromagnético es el medidor de aleta de hierro o de hierro dulce. Este dispositivo utiliza dos aletas de hierro dulce, una fija y otra móvil, colocadas entre los polos de una bobina cilíndrica y larga por la que pasa

la corriente que se quiere medir. La corriente induce una fuerza magnética en las dos aletas, provocando la misma inclinación, con independencia de la dirección de la corriente. La cantidad de corriente se determina midiendo el grado de inclinación de la aleta móvil.

g.- Medidores de termopar:

Para medir corrientes alternas de alta frecuencia se utilizan medidores que dependen del efecto calorífico de la corriente. En los medidores de termopar se hace pasar la corriente por un hilo fino que calienta la unión de termopar. La electricidad generada por el termopar se mide con un galvanómetro convencional. En los medidores de hilo incandescente la corriente pasa por un hilo fino que se calienta y se estira. El hilo está unido mecánicamente a un puntero móvil que se desplaza por una escala calibrada con valores de corriente.

h.- Multímetro analógico:

Es el instrumento que utiliza en su funcionamiento los parámetros del amperímetro, el voltímetro y el Ohmímetro. Las funciones son seleccionadas por medio de un conmutador. Por consiguiente todas las medidas de Uso y precaución son iguales y es multifuncional dependiendo el tipo de corriente (C.C o C.A.)

i.- El Multímetro Digital (DMM):

Es el instrumento que puede medir el amperaje, el voltaje y el Ohmiaje obteniendo resultados numéricos - digitales. Trabaja también con los tipos de corriente

Comprende un grado de exactitud confiable, debido a que no existen errores de paralaje. Cuenta con una resistencia con mayor Ohmiaje al del analógico y puede presentar problemas de medición debido a las perturbaciones en el ambiente causadas por la sensibilidad.

j.- Puente de Wheatstone

Las mediciones más precisas de la resistencia se obtienen con un circuito llamado puente de Wheatstone, en honor del físico británico Charles Wheatstone. Este circuito consiste en tres resistencias conocidas y una resistencia

desconocida, conectadas entre sí en forma de diamante. Se aplica una corriente continua a través de dos puntos opuestos del diamante y se conecta un galvanómetro a los otros dos puntos. Cuando todas las resistencias se nivelan, las corrientes que fluyen por los dos brazos del circuito se igualan, lo que elimina el flujo de corriente por el galvanómetro. Variando el valor de una de las resistencias conocidas, el puente puede ajustarse a cualquier valor de la resistencia desconocida, que se calcula a partir los valores de las otras resistencias. Se utilizan puentes de este tipo para medir la inductancia y la capacitancia de los componentes de circuitos. Para ello se sustituyen las resistencias por inductancias y capacitancias conocidas. Los puentes de este tipo suelen denominarse puentes de corriente alterna, porque se utilizan fuentes de corriente alterna en lugar de corriente continua. A menudo los puentes se nivelan con un timbre en lugar de un galvanómetro, que cuando el puente no está nivelado, emite un sonido que corresponde a la frecuencia de la fuente de corriente alterna; cuando se ha nivelado no se escucha ningún tono.

j.- Contadores de servicio (wattmetros):

El medidor de vatios por hora, también llamado contador de servicio, es un dispositivo que mide la energía total consumida en un circuito eléctrico doméstico. Es parecido al vatímetro, pero se diferencia de éste en que la bobina móvil se reemplaza por un rotor. El rotor, controlado por un regulador magnético, gira a una velocidad proporcional a la cantidad de potencia consumida. El eje del rotor está conectado con engranajes a un conjunto de indicadores que registran el consumo total.

k.- Vatihorímetro:

Un vatihorímetro mide la potencia instantánea por tiempo. Medirá Kwh. El vatihorímetro no es más que un contador de electricidad y puede estar formado por uno o más vatímetros.

$R \cdot I$: tensión activa, real u ohmica.

$XL \cdot I$: tensión reactiva, inductiva ó magnética.

$Z \cdot I$: tensión aparente, (la que mide el voltímetro)

I.- Chispómetro:

Sirve para medir la rigidez dieléctrica de un aislante líquido o sólido. Para medir la rigidez dieléctrica vamos aplicando poco a poco una tensión con un regulador, que iremos aumentando hasta que de ionice el aceite y se produzca una chispa al romperse la rigidez dieléctrica.

Dielectrico: aislante y refrigerante.

m.- Frecuencímetro.

Aparato destinado a medir la frecuencia del circuito, sólo para corriente alterna. Se conecta en paralelo.

4.1.2. Instrumentos mecánicos

Los instrumentos mecánicos cada día son reemplazados por electrónica que nos permite tener una mejor resolución y evitan errores de paralaje. Sin embargo hoy por hoy constituyen una alternativa económica en algunos casos.

Dicho tipo de instrumentos están constituidos por todos aquellos que se valen de una medición directa a través de un mecanismo, que nos permita tomar la lectura del valor directamente de dicho instrumento, tales como:

- a) Micrómetros
- b) Vernier
- c) Durómetros
- d) Indicadores de carátula
- e) Palpadores
- f) Tensiometros

4.1.3. Instrumentos hidráulicos

Tal y como se mencionó en el tema anterior estos instrumentos en lugar de valer se un mecanismo ,no es común observarlos por el uso tan particular que tienen, estos se valen de un sistema basado en líquidos algunos de estos se enlistan a continuación:

- Limnímetros de punta y gancho con escala vernier
- Limnímetros de punta y gancho electrónicos
- Manómetros de agua abierta
- Manómetros de agua presurizada
- Manómetros de mercurio
- Manómetros de queroseno

- Medidores electrónicos de presión
- Tubos de Pitot
- Medidor de turbulencia y velocidad
- Medidor de velocidad de hélice
- Sistema de sondas para medición de ondas

4.1.4. Instrumentos neumáticos

Los instrumentos de medición neumáticos pertenecen a la clasificación de instrumentos de medición de Acuerdo al principio de operación

Estos tipos de instrumentos requieren de aire o un gas para su funcionamiento.

Algunos ejemplos de Instrumentos Neumáticos son:

- Baumanómetro es un instrumento que permite medir la fuerza que ejerce la sangre sobre las paredes de las arterias, su uso es de gran importancia para el diagnóstico médico, ya que permite detectar alguna anomalía relacionada con la presión sanguínea y el corazón.

- Calibradores de llantas: Este es usado para poder medir el nivel de inflado de las llantas

4.2 Tipos de instrumentos de medición electrónicos

Otra parte de la instrumentación es, como su nombre indica, el estudio de los instrumentos electrónicos. Éstos pueden ser parte del sistema que realizará la medida o ser el propio sistema.

Algunos instrumentos son el multímetro, el osciloscopio, sondas, etc. Otros equipos no están directamente diseñados para las medidas, como las fuentes de alimentación.

Un instrumento de medición capaz de mostrar instantáneamente valores digitales evitaría el juicio del operador en la lectura de la escala. La necesidad de facilitar la lectura, aun con iluminación insuficiente, fomenta la introducción de dispositivos que proporcionen lecturas digitales, y especialmente en el caso de herramientas como el micrómetro, el cual evita lecturas erróneas de la más pequeña graduación sobre el tambor de este.

Con el objeto de proporcionar lectura digital, es necesario disponer de un mecanismo para convertir valores de datos analógicos en digitales.

Fue necesario realizar múltiples investigaciones para lograr un sistema de lectura digital en instrumentos de medición que utilizan contadores mecánicos y convertidores eléctricos A/D (analógico/digitales). En las etapas iniciales algunos fabricantes de equipo de medición elaboraron instrumentos como las cabezas micrométricas electrodigitales, las cuales se instalaban sobre la platina de un

comparador óptico y se conectaban con un cable a un contador digital independiente. No tuvieron mucho éxito como dispositivos populares de medición porque eran poco prácticos y muy caros.

Desde entonces, el desarrollo de la tecnología ha sido notable. Al final de los años 70, el arribo de nuevos tipos de instrumentos digitales de medición que no requerían cables fue favorecido por el rápido progreso de la tecnología de integración en gran escala (LSI), junto con el desarrollo de pantallas digitales, como las de cristal líquido (LCD), y la miniaturización de las baterías. En 1982 entro al mercado el calibrador electrodigital que fue un instrumento difícil de digitalizar debido a su pequeño tamaño.

La adopción de tecnología electrónica avanzada no solo ha hallado el camino de los instrumentos electrodigitales de medición, sino que también ha posibilitado la expansión de funciones de una forma que fue difícil lograr con sistemas mecánicos.

El precio, inevitablemente, se incremento, pero la mejor funcionalidad justifica el aumento. Las herramientas de medición con funciones múltiples también han estado disponibles debido ala aplicación de microprocesadores.

Los requerimientos para mediciones exactas han intensificado el cumplimiento de estándares elevados en técnicas de fabricación. Los instrumentos electrodigitales dan valores de medición solo hasta un cierto lugar decimal, y no indican los valores de los datos a media graduación que permiten los tipos analógicos por estimación visual. Debido a esta limitación, y con el objeto de minimizar errores que surgen del truncamiento de fracciones que se acumulan en procesamientos complejos de datos como cálculos estadísticos, los requerimientos se han incrementado para lograr una resolución mayor y así proporcionar un lugar decimal adicional. Para algunos tipos de mediciones, la lectura analógica es mejor. Los sistemas electrodigitales, sin embargo, han permitido nuevas aplicaciones, a las cuales no puede accederse con las herramientas convencionales de medición porque los sistemas electrodigitales pueden incorporar funciones de procesamiento de datos y proporcionar datos a dispositivos externos. Algunas de las futuras tendencias para los instrumentos electrodigitales de medición son las siguientes:

- A. Miniaturización y menor precio con un mínimo numero de funciones con el objeto de remplazar los instrumentos convencionales de medición.
- B. Serán del tipo de propósito múltiple con muchas funciones y gran exactitud.
- C. Integración a sistemas de medición y control de calidad mediante conexión a procesadores de datos o computadores personales.
- D. El uso de sensores es muy extenso

4.3 Características de los instrumentos de medición eléctricos

Un elemento imprescindible para la toma de medidas es el sensor que se encarga de transformar la variación de la magnitud a medir en una señal eléctrica. Los sensores se pueden dividir en:

Pasivos: los que necesitan un aporte de energía externa.

Resistivos: son los que transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de su resistencia eléctrica. Un ejemplo puede ser un termistor, que sirve para medir temperaturas

Capacitivos: son los que transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de la capacidad de un condensador. Un ejemplo es un condensador con un material en el dieléctrico que cambie su conductividad ante la presencia de ciertas sustancias.

Inductivos: son los que transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de la inductancia de una bobina. Un ejemplo puede ser una bobina con el núcleo móvil, que puede servir para medir desplazamientos.

Activos: los que son capaces de generar su propia energía. A veces también se les llama sensores generadores. Un ejemplo puede ser un transistor en el que la puerta se sustituye por una membrana permeable sólo a algunas sustancias (ISFET), que puede servir para medir concentraciones.

Nota: Walt Kester de Analog Devices, da una clasificación opuesta a la mencionada anteriormente, como ejemplo un termistor sería un sensor pasivo (necesita de un aporte de energía) y un termopar sería activo (no necesita aporte de energía externa).

Otros ejemplos son: termopar, fotorresistencia, fotodiodo, fototransistor, condensador de placas móviles, sensor de efecto Hall, etc.

A veces también se puede aprovechar una característica no deseada de un elemento, como la dependencia de la temperatura en los semiconductores, para usar estos elementos como sensores.

4.3.1. Instrumentos de inducción

los instrumentos de inducción funcionan a partir del campo magnético producido por dos electroimanes sobre un elemento móvil metálico (corrientes de Foucault). La medida es proporcional al producto de las corrientes de cada electroimán y por lo tanto, pueden utilizarse tanto en corriente continua como en corriente alterna. Se utilizan habitualmente para la medida de energía eléctrica.

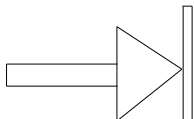
4.3.2. Simbología de instrumentos

La simbología principalmente en los instrumentos digitales es indicada por su abreviatura. Esto siempre y cuando el display lo permita, pero en general a menos que se use uno genérico las escalas estarán indicadas en la parte exterior. Es importante conocer la simbología ya que en muchas ocasiones se fabrican instrumentos en países donde no existe un idioma como el del país destino así pues podemos encontrar algunos de estos representados universalmente como los de corriente directa. _____

O alterna  A amperes Ω resistencia V voltaje por mencionar algunos

4.3.3. Instrumentos tipo rectificador

Componente no lineal de un circuito que permite que fluya más corriente en un sentido que en otro. El uso más común del rectificador consiste en transformar corriente alterna (CA) en corriente directa (CD). DIODO. Conjunto de dos placas polarizadas de material semiconductor, que dejan pasar la corriente cuando su polarización coincide con la polarización del diodo, y evita el paso en el caso contrario.



4.4. Higrómetros y termómetros

Un higrómetro es un instrumento que se usa para medir el grado de humedad del aire, o un gas determinado, por medio de sensores que perciben e indican su variación.

Funcionamiento

Los instrumentos registradores de la humedad del aire (higrógrafos) que se usan en las estaciones meteorológicas se fundan en el uso de materias higroscópicas que, al absorber la humedad ambiental, se alargan y tanto más cuanto más húmedo es el aire. Las primeras sustancias empleadas eran cabellos (previamente desengrasados), filamentos de cuernos de buey y tirillas de intestinos. El hilo, fijado por un extremo en el soporte del instrumento, es enrollado en el tambor que lleva la aguja y tiene un contrapeso en su extremo libre. En otros casos, de unos haces de cabellos humanos puede pender un contrapeso cuyo movimiento vertical, proporcional a la humedad ambiental, es transmitido a la aguja por un sistema multiplicador. La aguja indicadora puede constituir en un estilete inscriptor que traza una curva sobre el gráfico enrollado en un tambor. Éste es accionado por un mecanismo de relojería. El alargamiento de los cabellos suele ser de 2,5% cuando la humedad relativa pasa de de 0 a 100 por ciento.

Tipos de higrómetros Existen diversos tipos de higrómetros:

Un psicrómetro determina la humedad atmosférica mediante la diferenciación de su temperatura con humedad y su temperatura ordinaria. El higrómetro de condensación se emplea para calcular la humedad atmosférica al conseguir determinar la temperatura a la que se empaña una superficie pulida al ir enfriándose artificialmente y de forma paulatina dicha superficie. A esta temperatura comúnmente se conoce como “Temperatura de Rocío”. El higroscopio utiliza una cuerda de cabellos que se retuerce con mayor o menor grado según la humedad ambiente. El haz de cabellos desplaza una aguja indicadora que

determina la proporción de la mayor o menor humedad, sin poder llegar a conocer su porcentaje. El higrómetro de absorción utiliza sustancias químicas higroscópicas, las cuales absorben y exhalan la humedad, según las circunstancias que los rodean. El higrómetro eléctrico está formado por dos electrodos arrollados en espiral entre los cuales se halla un tejido impregnado de cloruro de litio acuoso. Si se aplica a estos electrodos una tensión alterna, el tejido se calienta y se evapora una parte del contenido de agua. A una temperatura definida, se establece un equilibrio entre la evaporación por calentamiento del tejido y la absorción de agua de la humedad ambiente por el cloruro de litio, que es un material muy higroscópico. A partir de estos datos se establece con precisión el grado de humedad.

La termometría es una rama de la física que se ocupa de los métodos y medios para medir la temperatura. La temperatura no puede medirse directamente. La variación de la temperatura puede ser determinada por la variación de otras propiedades físicas de los cuerpos volumen, presión, resistencia eléctrica, fuerza electromotriz, intensidad de radiación...

Tipos de Termómetros (según el margen de temperaturas a estudiar o la precisión exigida) Termómetros de líquido, portátiles y permiten una lectura directa. No son muy precisos para fines científicos.

- de alcohol coloreado desde $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$ (punto de congelación del etanol, el alcohol empleado en él) hasta $78\text{ }^{\circ}\text{C}$ (su punto de ebullición), cubriendo por lo tanto toda la gama de temperaturas que hallamos normalmente en nuestro entorno.

Termómetros de gas: o desde $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $1477\text{ }^{\circ}\text{C}$ o muy exacto, margen de aplicación extraordinario. Más complicado y se utiliza como un instrumento normativo para la graduación de otros termómetros.

Termómetros de resistencia de platino: o es el más preciso en la gama de $-259\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $631\text{ }^{\circ}\text{C}$, y se puede emplear para medir temperaturas hasta de $1127\text{ }^{\circ}\text{C}$ o depende de la variación de la resistencia a la temperatura de una espiral de alambre de platino o reacciona despacio a los cambios de temperatura, debido a su gran capacidad térmica y baja conductividad, por lo que se emplea sobre todo para medir temperaturas fijas.

Par térmico (o pila termoeléctrica) o consta de dos cables de metales diferentes unidos, que producen un voltaje que varía con la temperatura de la conexión. o Se emplean diferentes pares de metales para las distintas gamas de temperatura, siendo muy amplio el margen de conjunto: desde $-248\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $1477\text{ }^{\circ}\text{C}$. o es el más preciso en la gama de $-631\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1064\text{ }^{\circ}\text{C}$ y, como es muy pequeño, puede responder rápidamente a los cambios de temperatura.

El pirómetro de radiación se emplea para medir temperaturas muy elevadas. Se basa en el calor o la radiación visible emitida por objetos calientes. Es el único termómetro que puede medir temperaturas superiores a $1477\text{ }^{\circ}\text{C}$. Escalas de Temperatura • Kelvin • Celsius • Fahrenheit • Rankine • Reaumur

Termómetro Propiedad termométrica Columna de mercurio, alcohol, etc., en un capilar de vidrio Longitud Gas a volumen constante Presión Gas a presión constante Volumen Termómetro de resistencia Resistencia eléctrica de un metal Termistor Resistencia eléctrica de un semiconductor Par termoeléctrico F.e.m. termoeléctrica Pirómetro de radiación total Ley de Stefan – Boltzmann Pirómetro

de radiación visible Ley de Wien Espectrógrafo térmico Efecto Doppler
Termómetro magnético Susceptibilidad magnética Cristal de cuarzo Frecuencia de
vibración