

PROPIEDADES Y ENSAYOS MECANICOS DE LOS MATERIALES METALICOS.

Medición de Temperaturas.- El éxito de muchas operaciones metalúrgicas tales como la fusión, afino, colada y tratamientos térmicos, depende en gran parte de la medida y control correcto de la temperatura. Es muy frecuente que una temperatura de 10-15°C con relación a la temperatura optima, repercuta en la obtención de productos de calidad inferior.

El concepto de temperatura probablemente se originó a causa del sentido físico del calor o del frío. Los intentos para lograr una estimación más específica y cuantitativa dieron lugar a la idea de la escala de temperaturas.

Escala de Temperaturas.- La temperatura es una medida de la energía térmica del movimiento desordenado de las moléculas en una sustancia en equilibrio térmico.

Por lo general la temperatura de una sustancia se mide en grados fahrenheit o celsius (centígrada). La escala científica común es la escala celsius en la cual 0° corresponde al punto de congelación del agua y 100° es la temperatura normal de ebullición de la misma. A principios del año de 1700 Fahrenheit cuyo oficio por tradición era el de soplador de vidrio ya podía construir termómetros de mercurio cuya concordancia de lecturas era bastante satisfactoria. La escala Fahrenheit es la que comunmente se utiliza en las actividades diarias de los Estados Unidos, tal como se ha normalizado, 32°F representa el punto de congelación del agua y 212°F corresponde al punto de ebullición normal del agua mediante las siguientes ecuaciones, se puede realizar la conversión de una a otra

°C = 5/9 (°F - 32)

°F = 9/5 °C + 32

Las escalas fahrenheit y celsius son relativas. Esto es, el punto correspondiente a cero fue establecido arbitrariamente por sus inventores frecuentemente es necesario utilizar temperaturas absolutas en lugar de los valores relativos.

En las escalas absolutas, el punto perteneciente a cero corresponde a la temperatura mínima que el hombre piensa que puede existir. Tal como se sabe la temperatura mínima está relacionada con las leyes de los gases ideales y con las leyes de la termodinámica. La escala absoluta que está basada en los grados celsius y cuyas unidades son de la misma magnitud que estos, es la escala Kelvin: la escala absoluta correspondiente a los grados Fahrenheit se llama escala Rankine.

En la siguiente figura se ilustran las relaciones entre temperaturas relativas y absolutas. Redondearemos el cero absoluto de la escala Rankine, que es -459.58°F. a -460°F; en la misma forma, -273.15 grados C se redondeará a -273°C, la relación entre -- °K = °C+273 °R= °F +460.

Medición de Temperaturas por medio de Colores.- Uno de los métodos más sencillos para estimar la temperatura de un metal, especialmente del acero contenido en un horno, es la observación del color del cuerpo caliente. Existe una relación definida entre la temperatura de un cuerpo y su color, aproximadamente en la forma siguiente:

Table with 2 columns: Color and Grados Centígrados. Rows include Rojo Incipiente (500), Rojo Oscuro o Sangre (500-625), Rojo Cereza Oscuro (635), Rojo Cereza (700), Cereza Brillante (800), Anaranjado Oscuro (900), Anaranjado (950), Amarillo Limón (950-1000), Amarillo Claro (1100), and Blanco (más de 1150).

212	672	Temp. de Eb. del agua a 760 mm de Hg.	373	100
180	32	Temp. de congelación del agua	273	0
	0		255	-18
	-40	$^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{F}$	233	-40
-460	F. R.		K.	C. 273

Este método de estimación está sujeto, naturalmente al buen juicio del observador. A pesar de ello se puede emplear para una estimación aproximada de la temperatura de los metales calientes y, en manos de un observador experimentado, puede conducir a resultados de exactitud sorprendente.

Clasificación de la medición de temperaturas.- Para medir la temperatura se utilizan 2 métodos o sistemas que son:

La termometría, la cual se ocupa de la medición de temperaturas por debajo de 500°C y los instrumentos utilizados son los termómetros.

La pirometría, mide temperaturas arriba de los 500°C y los instrumentos utilizados son llamados pirómetros.

Termómetros de expansión metálica.- En estos aparatos la determinación de las temperaturas se realiza midiendo la dilatación que experimentan ciertas materias sólidas cuyo coeficiente de dilatación es conocido. En los termómetros bimetalicos, que cada día son más utilizados, la medida de temperaturas se basa en la diferencia de dilatación que experimentan dos sustancias sólidas al ser calentadas. Estos instrumentos constan de una lámina bimetalica, general-

mente enrollada en espiral, construida con dos flejes de metales o aleaciones de coeficientes de expansión muy diferente. Los dos flejes se unen por ribeteo, -- por laminación en caliente o en frío y luego se les da la forma deseada.

El instrumento consta de una escala para la medida de temperaturas, fija en la caja del instrumento, y la espiral bimetalica, que se fija por un extremo a la caja del aparato y que en el otro extremo lleva unida una aguja indicadora, al variar la temperatura del medio ambiente se mueve el extremo libre de la espiral bimetalica, debido a la diferencia de dilatación que experimentan los 2 metales o aleaciones y la aguja marcadora gira y señala la temperatura.

Estos termómetros de lámina bimetal pueden usarse hasta 200°C , y en casos excepcionales hasta 500°C ; para la fabricación de láminas bimetalicas se suele emplear invar, cuyo coeficiente de dilatación es muy pequeño (1×10^{-6}), y latón, cuyo coeficiente es unas .18 veces mayor (18×10^{-6}). El error de éstos termómetros suele ser inferior a un 2% Termómetros metálicos que emplean aparatos de medición manométrica. Este tipo de termómetro consta de un bulbo que se coloca en el lugar cuya temperatura se desea medir y de un dispositivo generalmente un tubo en espiral (tubo bourdon), que al variar su forma acciona un sistema indicador o registrador. El bulbo y el tubo en espiral están unidos mediante un tubo capilar y el interior de todo el conjunto está lleno de una sustancia adecuada; que dependiendo de cual, es el nombre que recibe el termómetro. a).- Termómetro de Expansión líquida, b).- Termómetro de Vapor a Presión c).- Termómetro de gas a presión.

Termómetro de Expansión Líquida.- El aparato funciona en forma parecida a un manómetro. Se coloca el bulbo del termómetro en un lugar cuya temperatura se quiere medir, y cuando se eleva la temperatura del bulbo aumenta la presión del líquido, que se transmite a través del sistema hasta el aparato manométrico.

trico cuyo tubo curvado actúa sobre los engranajes, y la aguja señala la temperatura en la escala del aparato.

Algunos de los líquidos empleados y las temperaturas a que se utilizan son:

Mercurio	-	37 a 510°C
Alcohol	-	80 a 70°C
Pentano	-	200 a 30°C
Creosota	-	6.5 a 205°C

Termómetro de Vapor a Presión.- Este termómetro se carga con un líquido volátil de forma que en el bulbo haya siempre líquido y vapor. Al variar la temperatura en el bulbo varía la presión del vapor saturado la cual se transmite al tubo en espiral, el cual señala la temperatura correspondiente en función a la presión del vapor. Los vapores utilizados son: Cloruro de metilo, eter, alcohol etílico, tolueno y el rango de temperaturas que mide es de -50 a 260°C.

Termómetro de gas a presión.- El funcionamiento de estos instrumentos se basa en el aumento de presión que experimenta el gas que contienen en su interior, al aumentar la temperatura; como el volumen en el que el gas está contenido es prácticamente constante, la medición de la temperatura se puede hacer midiendo la presión del gas.

El gas utilizado normalmente es el nitrógeno el cual mide temperaturas en el rango de -128 a 430°C.

Termómetro de Resistencia Eléctrica.- Estos instrumentos operan sobre el principio de que la resistencia de un alambre al paso de una corriente eléctrica varía al cambiar la temperatura. A mayor temperatura mayor resistencia. El termómetro de resistencia se compone de una bobina de alambre de alta pureza, generalmente enrollada sobre un soporte aislador de mica. La bobina es el elemento termométrico activo, y su resistencia es la que servirá como base para determinar la temperatura, se le monta en el in-

terior de un tubo de protección cerrado por un extremo, que puede ser de metal o porcelana. Desde la bobina y por dentro del tubo, se llevan alambres conductores hasta la cabeza terminal, desde la que, a su vez, se disponen conductores adecuados para conectar el termómetro a un aparato para la medida de la resistencia, generalmente un puente de Wheatstone. El alambre utilizado debe ser de pureza elevada y poseer una resistencia constante y reproducible para cualquier temperatura dada. Los límites de temperatura entre los cuales se pueden emplear los metales son los siguientes:

Platino	-	250 a 600°C
Niquel	-	100 a 200°C
Cobre	-	100 a 200°C
Paladio	-	200 a 600°C

El termómetro de resistencia es muy exacto y de gran importancia en el laboratorio; sin embargo, su aplicación en la industria es limitada, porque es frágil y requiere de mucho cuidado en su manejo.

Pirómetro Termoeléctrico.- Es un aparato para medir y controlar temperaturas de hasta 2300°C. Sus elementos constitutivos son: a).- El termopar, b).- El bloque de empalmes, c).- Los cables de extensión y d).- El instrumento indicador, para medir la fuerza electromotriz producida por el termopar.

Termopares.- Un termopar es un sistema compuesto de dos alambres metálicos homogéneos; de composición química diferente, soldados en uno de sus extremos (junta caliente), formándose un circuito cerrado cuando los otros dos extremos libres se unen al indicador (junta fría o de referencia).

Para seleccionar las combinaciones de termopares, es necesario que los metales cumplan una serie de características.

- Suficiente potencial termoeléctrico para poder medirse.
- Costo razonable.

c).- Punto de fusión superior a la temperatura que han de medir.

Materiales de los Termopares.- En los termopares, el primer material en la combinación siempre se conecta a la terminal positiva.

a).- Cromel-alumel: el cromel (90% de níquel, 10% de cromo) y el alumel (94% de níquel, 3% de manganeso, 2% de aluminio y 1% de silicio), son más útiles en el intervalo de 650 a 1200°C.

b).- Hierro-constantan: el constantan es una aleación que contiene 54% de cobre y 45% de níquel. Esta combinación puede utilizarse en el intervalo de 150 a 760°C.

c).- Cobre-Constantan: Esta combinación es más adecuada para mediciones a baja temperatura hasta de 250°C. El límite superior es de 300°C.

d).- Platino con 10% de rhodio-platino rango de temperaturas de 0 a 1650°C.

e).- Platino con 13% de Rhodio-platino rango de temperaturas de 0 a 1700°C.

f).- Platino 30f de Rhodio-platino 6f de rhodio se utiliza para medir entre 0 y 1760°C.

g).- Tungsteno-tungsteno 26%, reino

h).- Tungsteno 3% - Tungsteno 25% renio

i).- Tungsteno 5% - tungsteno 26% renio hasta 2300°C

Los termopares se fabrican cortando longitudes adecuadas de los dos alambres; los alambres se tuercen conjuntamente unas dos vueltas, o algunas veces se unen por extremos, y se sueldan para formar un botón redondo y uniforme. Los alambres del termopar deben estar en contacto eléctrico solo en la unión caliente, ya que el contacto en cualquier otro punto generalmente resultará en una F.E.M. medida demasiado baja. Los alambres están aislados entre sí por pequeños cilindros de porcelana.

Los termopares es conveniente portegerlos con tubos o cañas de protección las cuales son fundidas que protegen los alambres de choques o gases corrosivos.

Tipos de cañas.- a).- Fundición hasta 700°C, b).- Hierro con 14% de cromo hasta 800°C, c).- Hierro con 28% de cromo hasta 1100°C, por encima de 1100°C los tubos de protección que se utilizan son de porcelana, carburo de silicio o alúmina de 99.8% de pureza.

Fundamentos.- La medida de la temperatura mediante un termopar es posible porque en el se produce una fuerza electromotriz, cuando la unión soldada está a temperatura diferente de la unión fría. Si la unión fría se mantiene a una temperatura constante por ejemplo, el punto de fusión del hielo, la fuerza-electromotriz creada en el termopar es una cierta función de la temperatura a la que se encuentre la unión caliente.

En las condiciones señaladas, la f.e.m. creada depende de dos causas diferentes: el efecto Peltier y el efecto Thomson. Efecto Peltier: cuando 2 alambres metálicos homogéneos de diferente composición química, se ponen en contacto eléctrico uno con otro, se produce en la unión un tacto eléctrico uno con otro, se produce en la unión una diferencia de potencial entre los dos metales. Esta diferencia de potencial depende de la temperatura a que se encuentra el contacto y de la composición química de los dos alambres. Efecto Thomson: Cuando en un alambre metálico homogéneo se produce un gradiente de temperatura por calentamiento de uno de sus extremos, se establece también una diferencia de potencial entre los extremos, se establece también una diferencia de potencial entre los extremos calientes y frío del alambre; de esta exposición se deduce que la f.e.m. total creada en el sistema termoeléctrico es la suma de las siguientes cuantros f.e.m.

- 1.- F.E.M. Peltier en la unión caliente
- 2.- F.E.M. Peltier en la unión fría
- 3.- F.E.M. Thomson a lo largo de uno de los alambres del termopar
- 4.- F.E.M. Thomson a lo largo de otro alambre del termopar.

La fuerza electromotriz total también recibe el nombre de efecto Seebeck.

Termómetro de registro y control.— En la mayoría de las instalaciones industriales es necesario que el pirómetro efectúe algo más que medir la temperatura. La aguja del instrumento medidor se puede sustituir por una pluma que se mueva sobre una carta corrediza, a fin de obtener un registro completo de la temperatura. Este recibe el nombre de pirómetro de registro. También el instrumento mediante circuitos eléctricos, se puede utilizar para controlar el flujo de gas a los quemadores o de electricidad a los elementos de calefacción y de este modo mantener constante una temperatura determinada en el horno. Este se llama pirómetro de control.

Termómetros de Radiación Total.— Los pirómetros de radiación total determinan la temperatura de un cuerpo caliente midiendo la intensidad de la radiación emitida de todas las longitudes de onda. Se diferencian de los pirómetros ópticos en este empleo de la radiación total, de luz y calor, en lugar de una sola longitud de onda.

Todos los pirómetros de radiación total operan concentrando la energía radiante de todas las longitudes de onda sobre un elemento sensible, que genera una fuerza electromotriz medible con un instrumento apropiado. El elemento sensible puede ser un termopar o, en algunos casos, una termopila.

El rango normal de temperaturas que mide es de 700 a 2000°C.

Ley de Stefan-Boltzmann. La elevación de temperatura de la unión caliente del termopar de un pirómetro de radiación total es aproximadamente proporcional a la velocidad con que incide sobre él la energía radiante.

La ley de Stefan-Boltzmann, fundamento de la escala de temperatura. De todos los pirómetros de radiación total, dice que esta velocidad de incidencia

de la energía procedente de un cuerpo negro, es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta, $w = kt^4$, donde:

w = velocidad de emisión de la energía de todas las longitudes de onda por el cuerpo negro.
 k = Constante de proporcionalidad
 t = temperatura absoluta del cuerpo negro.

El cuerpo negro es un material hipotético que se toma como referencia y que tiene la propiedad de absorber todas las radiaciones que recibe y emitir energía que ningún otro cuerpo a la misma temperatura.

La temperatura que se lee en el pirómetro es la temperatura aparente, la cual se ajusta para obtener la temperatura verdadera y esto se logra tomando en cuenta la emisividad total del material.

Emisividad.— Es la relación que hay entre la energía emitida por un cuerpo y la que emitiría un cuerpo negro a la misma temperatura.

MATERIAL	EMISIVIDAD
Cobre (sin oxidarse)	.02
Cobre (oxidado)	.70
Cobre (Líquido)	.15
Hierro (sin oxidar)	.05
Hierro (oxidado)	.85
Placa de acero (rugosa y oxidada)	.97
Hierro colado (muy oxidado)	.95
Ladrillo refractario	.75
Ladrillo de silic	.85

En la siguiente tabla se dan las temperaturas verdaderas en función de las aparentes observadas en un pirómetro de radiación total.

Pirómetro Óptico.— Un pirómetro óptico esencialmente un fotómetro que aísla una banda estrecha de la radiación visible emitida por un cuerpo incandescente y la compara con la intensidad de la radiación en la misma banda de un foco patrón calibrado.