MES DE MARZO DE 1967 - CHARLAS

LA TRANSFORMACION ATOMICA DE LA ENERGIA ELECTRICA EN CALORIFICA EN LAS ALEACIONES

Por el Doctor
LUIS FELIPE VEGAS

RESUMEN

En este trabajo se demuestra que la invariabilidad del calor atómico en los elementos sólidos y la desigualdad de los volúmenes de los átomos pertenecientes a elementos diferentes son las causas de que, al transformarse la energía eléctrica en calorífica, suba más la temperatura en los conductores constituidos por los elementos cuyos átomos tienen un gran volumen o por las aleaciones con un volumen atómico ideal *considerable.*

(El volumen atómico ideal es un volumen imaginario definido por una cierta relación de equivalencia).

Además, se espera que este trabajo contribuya a la eliminación de los enojosos tanteos así como de cierto empirismo que existen aún en la fabricación de toda nueva aleación.

Con el título *La transformación atómica de la energía eléctrica en calorífica* expuse en esta Academia, en la sesión del 26 de septiembre de 1962, los resultados a los cuales había llegado en un estudio hecho por mí sobre esta transformación.

Como estos resultados se refieren a los elementos porque consideré la mencionada transformación cuando solamente se realiza en los cuerpos simples, tuve la idea, después que fueron publicados en el Boletín de la Academia[1], de continuar este estudio a fin de también incluir las aleaciones pues en la industria éstas son tan útiles como los elementos mismos.

Concluidas estas últimas investigaciones expondré ahora que basta reemplazar en las aleaciones el volumen atómico por un *volumen atómico ideal* para que éstas sean comprendidas en el más interesante de los resultados hallados por mí, esto es, la ley que relaciona la potencia eléctrica al volumen atómico de los elementos.

Pero este nuevo trabajo que hoy presento es en realidad una continuación de *La transformación atómica de la energía eléctrica en calorífica* y no puede, por consiguiente, exponerse separadamente. Es pues indispensable que repita aquí una gran parte del trabajo que acabo de citar no obstante de haber sido publicado en otro número de este mismo Boletín. Pero haré esta reproducción en caracteres de imprenta más pequeños a fin de que las personas que lo hayan leído no tengan que hacerlo de nuevo.

El principio de CLAUSIUS, equivalente al segundo principio fundamental de la termodinámica, dice que "*no puede pasar el calor, por si mismo, de un cuerpo a otro que esté más caliente*". Los conductores atravesados por una corriente eléctrica son cuerpos en los cuales se produce calor y para que éste no se trasmita al exterior bastará, según el principio de CLAUSIUS, mantener el espacio que rodea al conductor a la misma temperatura de éste[2].

---

[1] Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Año XXII, Tomo XXII, Nº 59, 1962.

[2] Para impedir la pérdida de calor por la superficie exterior de un conductor se hará como sigue: Sea un conductor tubular de unos 20 cm. de longitud y con un diámetro interior algo mayor que el diámetro del termómetro de modo que éste pueda penetrar en él. Revestiremos la superficie exterior del conductor con varias capas de tejido de lana y encima arrollaremos un cordón hueco relleno de polvo grueso de corcho. Este cordón lo cubriremos a su vez con una fuerte capa de algodón que ataremos con una cuerda de cáñamo enrollada según el paso de rosca del cordón de corcho. Después, para evitar la humedad, se aplicará a todo pintura al óleo.

Cuando se experimente con grandes diferencias de temperatura puede haber pérdida de calor por radiación, en tal caso se podrá proceder de cualquiera de las dos maneras que siguen: o se coloca el conductor sin envolturas dentro de una botella o vaso Dewar (botella termos), o se pone dentro de un recipiente de doble pared. Esta pared contiene internamente un líquido que se puede calentar por una corriente eléctrica o enfriar por circulación, en un serpentín, Al transformarse la energía eléctrica en calorífica y no transmitirse esta última al exterior la temperatura del cuerpo conductor subirá hasta que la cantidad de calor, *por unidad de volumen*, sea igual al producto del calor específico por la densidad y por la diferencia de temperaturas registradas en él, o sea

$$dc\ (\theta^\circ - \theta^\circ_1)$$

designando:

d	la densidad,
c	el calor específico,
$\theta^\circ - \theta^\circ_1$	la diferencia de temperaturas.

Ahora bien, la energía calorífica, cuando proviene de la transformación de la energía eléctrica, está determinada por la fórmula

$$\frac{\rho \left(\frac{I}{S}\right)^2 t}{J}$$

designando:

ρ	la resistencia eléctrica del volumen considerado, la cual, por ser éste un volumen unidad, es la *resistividad* de la sustancia,
I/S	la intensidad de la corriente eléctrica por unidad de superficie,
t	el tiempo expresado en segundos,
J	el equivalente mecánico de la caloría.

Luego[3], para expresar la transformación de la energía eléctrica en calorífica, escribiremos

$$\frac{\rho \left(\frac{I}{S}\right)^2 t}{J} = dc \left(\theta^\circ - \theta^\circ_1\right)$$

de donde

$$dc = \frac{\rho \left(\frac{I}{S}\right)^2 t}{J \left(\theta^\circ - \theta^\circ_1\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (A)$$

El producto *dc* representa la capacidad calorífica de la unidad de volumen[4].

de una mezcla frigorífica de una sal y agua, o de gas licuado. Además, se podrá extraer el aire del espacio utilizable de la botella Dewar, o del recipiente de doble pared, para evitar pérdidas por convección. Al mismo tiempo se podrá usar, en vez de un termómetro de mercurio, una resistencia de platino, mucho más sensible.

[3] Supondremos que la corriente de intensidad I atraviesa perpendicularmente la sección recta de área S del conductor y, además, que su densidad es uniforme lo cual se podrá lograr si la corriente eléctrica es constante y de dirección permanente y si los conductores, además de homogéneos, son prismáticos o cilíndricos.

[4] La capacidad calorífica, conocida también con el nombre de capacidad térmica, es el producto de la masa de un cuerpo por su calor específico.

Luego la expresión

$$\frac{\rho\left(\frac{I}{S}\right)^{2} t}{J\left(\theta^{\circ}-\theta^{\circ}{}_{1}\right)}$$

que aparece en el segundo miembro representará igualmente una cantidad específica del conductor considerado, razón por la cual la he denominado *capacidad electrocalorífica de la unidad de volumen.*

Esto sentado, escribamos la ecuación (A) en la siguiente forma

$$c=\frac{\rho\left(\frac{I}{S}\right)^{2} t}{J\left(\theta^{\circ}-\theta^{\circ}{}_{1}\right)} \cdot \frac{1}{d}$$

Si el conductor está constituido por un elemento y llamamos M su molécula gramo y n su atomicidad[5], multiplicando por M/n ambos miembros de la ecuación, obtendremos

$$\frac{cM}{n}=\frac{\rho\left(\frac{I}{S}\right)^{2} t}{J\left(\theta^{\circ}-\theta^{\circ}{}_{1}\right)} \cdot \frac{M}{nd} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (B)$$

El primer miembro, o sea, cM/n, representa la capacidad calorífica del átomo gramo, y la expresión M/nd, que entra como factor en el segundo miembro, es el volumen del átomo gramo.

Ahora bien, según la ley de DULONG y PETIT, la capacidad calorífica del átomo gramo es, para los elementos sólidos, sensiblemente constante; luego de la ecuación (B) se deduce esta *Nueva Ley*:

El producto de la capacidad electrocalorífica por el volumen del átomo gramo es igualmente, para los elementos sólidos, sensiblemente constante

Dividamos ahora ambos miembros de la ecuación (B) por N, o sea, el número de AVOGADRO, resultará:

$$\frac{cM}{nN}=\frac{\rho\left(\frac{I}{S}\right)^{2} t}{J\left(\theta^{\circ}-\theta^{\circ}{}_{1}\right)} \cdot \frac{M}{dnN} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (C)$$

Observemos que cM/nN expresa la capacidad calorífica de un simple átomo o *calor atómico* y que, en el segundo miembro, el factor (M/dnN) expresa el volumen del átomo o *volumen atómico.* Luego la ecuación (C) puede escribirse así:

[5] La atomicidad es el número de átomos que constituyen la molécula y, por consiguiente es también el número de átomos gramo que constituyen la molécula gramo.

$$\text{Calor atómico} = \frac{\rho \left(\dfrac{I}{S}\right)^2 t}{J\left(\theta^\circ - \theta^\circ_1\right)} \cdot \text{Volumen atómico} \quad \ldots \quad (D)$$

Supongamos ahora el caso general en el cual la masa del conductor comprende un número cualquiera de gramos. Sea m el número de gramos, y η, el número de átomos simples contenidos en los m gramos. Se tiene

$$\frac{\eta}{m} = \frac{nN}{M}$$

de donde

$$\eta = m \frac{nN}{M}$$

Multiplicando ambos miembros de la ecuación (C) por η, obtendremos

$$mc = \frac{\rho \left(\dfrac{I}{S}\right)^2 t}{J\left(\theta^\circ - \theta^\circ_1\right)} \cdot \frac{m}{d}$$

Llamando l la longitud del conductor y teniendo presente que m/d = volumen, se podrá escribir

$$\frac{m}{d} = sl$$

Substituyendo, en la ecuación, m/d por sl, se tiene

$$mc\left(\theta^\circ - \theta^\circ_1\right) = \frac{\rho \dfrac{l}{s} I^2 t}{J}$$

y recordando que

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

obtendremos

$$mc\left(\theta^\circ - \theta^\circ_1\right) = \frac{R\, I^2\, t}{J} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (K)$$

Llegamos así a esta ecuación cuyo segundo miembro es la expresión algebráica de la *ley de* JOULE. Si suponemos, pues, que la transformación de la energía eléctrica en calorífica ocurre en el átomo, esta ecuación expresará la cantidad total de calor debida a dicha transformación en el conjunto de los átomos que constituyen el cuerpo conductor y, por consiguiente, deberá tenérsela por la expresión cabal del *efecto* JOULE.

Ahora bien, de la ecuación (K) se deduce que *para un conductor dado, recorrido por una corriente determinada, la temperatura aumenta proporcionalmente al tiempo que dure la corriente.*

Consideremos de nuevo la ecuación (D). Si llamamos E la diferencia de potencial entre dos puntos sucesivos situados en la dirección de la corriente y cuya distancia sea la unidad de longitud, la energía eléctrica, fuente en este caso de los calores atómicos, tendrá por expresión:

$$E \cdot \frac{I}{S} \, t$$

Esto sentado, según la ley de OHM, se tiene

$$E = \rho \frac{I}{S}$$

Luego se podrá escribir

$$E \frac{I}{S} t = \rho \left(\frac{I}{S} \right)^2 t$$

y, por substitución en (D), obtendremos:

$$\text{Calor atómico} = \frac{E \cdot \frac{I}{S} \, t}{J \left(\theta^\circ - \theta^\circ_1 \right)} \cdot \text{Volumen atómico}$$

o también

$$E \frac{I}{S} \cdot \text{Volumen atómico} = \frac{J \left(\theta^\circ - \theta^\circ_1 \right)}{t} \cdot \text{Calor atómico}$$

Luego, si los valores de $\theta^\circ - \theta^\circ_1$ y t se mantienen fijos, se tiene:

$$E \frac{I}{S} \cdot \text{Volumen atómico} = \text{constante} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (F)$$

Esta ecuación, que *relaciona la potencia eléctrica al volumen atómico*, es, pues, la expresión matemática de otra *Nueva Ley*, la cual enunciará así:

La potencia eléctrica es inversamente proporcional al volumen atómico si dicha potencia es capaz de producir en los volúmenes unidad de los diversos elementos, y en un tiempo igual, una elevación de temperatura de igual número de grados.

Esta ley que se refiere exclusivamente a los elementos puede, no obstante, aplicarse también a las aleaciones si tomamos como volumen atómico de éstas un cierto volumen que llamaremos *volumen atómico ideal.*

Sea ν el número de átomos contenidos en la *unidad de volumen* de un elemento cualquiera.

Como cada uno de estos átomos, por pertenecer a un mismo elemento, ocupa un volumen igual, el producto de éste por ν nos dará el *volumen unidad,* o sea

$$\nu \,.\, \text{Volumen atómico} = 1$$

de donde

$$\text{Volumen atómico} = \frac{1}{\nu} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (G)$$

Reemplazando este valor en la ecuación (F), se tiene

$$\frac{E \dfrac{I}{S}}{\nu} = \text{constante}$$

Ecuación que además de relacionar la potencia eléctrica al átomo mismo constituye la expresión matemática de una *Ley* que, no obstante su novedad, debemos considerarla equivalente a la ley de DULONG y PETIT. Su enunciado lo haré así:

Si los átomos de los distintos elementos sólidos se encuentran a la misma temperatura θ°_{1} *para llevar ésta a otra de grado mayor* θ° *habrá que aplicar generalmente a cada uno de estos átomos, durante un tiempo igual, una potencia eléctrica igual.*

LAS ALEACIONES

Una aleación es simplemente una yuxtaposición de átomos pertenecientes a elementos diferentes. Por lo tanto, estos átomos seguirán sujetos a la ley que acabamos de enunciar, o sea que para ellos también se tiene:

$$\frac{E \dfrac{I}{S}}{\nu} = \text{constante} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (H)$$

Pero los átomos que pertenecen a distintos elementos tienen generalmente volúmenes diferentes. Por consiguiente, la relación $1/\nu$ no representa en las aleaciones el volumen atómico.

Sin embargo, si suponemos un Volumen Atómico Ideal equivaente a la relación $1/\nu$, se podrá escribir

$$\frac{1}{\nu} = \text{Volumen atómico ideal}$$

y, llevando este valor en (H), se obtiene finalmente

$$E \frac{I}{S} \text{ . Volumen atómico ideal} = \text{constante}$$

Luego el enunciado de la ley que relaciona la potencia eléctrica al volumen atómico habrá que modificarlo así:

La potencia eléctrica es inversamente proporcional al volumen atómico, o al volumen atómico ideal de las aleaciones, si dicha potencia es capaz de producir en los volúmenes unidad de los diversos elementos, o de las distintas aleaciones, y en un tiempo igual, una elevación de temperatura de igual número de grados[6].

Véanse los cuadros de las páginas 121, 122, 123 y 125 relativos a las aleaciones. También presentamos en las páginas 126, 127 y 128 unos cuadros relativos a los elementos.

NOTA I

Para saber qué cantidad de átomos de un elemento componente entra por $cm.^3$ de aleación se usará la fórmula

$$A_1 \, d \, \frac{Nn}{M}$$

cuya aplicación no presenta ninguna dificultad.

No obstante, en un proyecto de fabricación de una aleación nueva, conviene no olvidar las tres observaciones que siguen:

1. Los valores de A_1 los fijará el fabricante procurando que la aleación nueva posea determinadas propiedades.
2. N, n y M son cantidades constantes cuyos valores se encuentran en las tablas de física y química.
3. d, o sea la densidad de la nueva aleación, es un factor enteramente desconocido. Sin embargo, podemos obtener un valor aproximado de dicho factor, suficiente para este intento, utilizando la regla de las mezclas, o valiéndonos del procedimiento que a continuación expongo.

[6] Es de advertir, sin embargo, que en la elaboración de ciertas mezclas se producen compuestos químicos los cuales al formar parte de la masa de dichas aleaciones hacen inaplicables a éstas las leyes que acabamos de enunciar.

Si P_1, D_1, y V_1 designan el peso, la densidad y el volumen de cualquiera de los diversos elementos que entran en la composición de una aleación, podemos escribir

$$\frac{P_1}{D_1} = V_1$$

igualmente, para los otros elementos, se tiene

$$\frac{P_2}{D_2} = V_2, \frac{P_3}{D_3} = V_3, \ldots\ldots\ldots\ldots$$

Si ahora designamos con las letras P y d el peso y la densidad de la aleación y además suponemos que su volumen es igual a la suma de los volúmenes de sus componentes, se puede escribir

$$d = \frac{P}{V_1 + V_2 + V_3 + \ldots} = \frac{P}{\dfrac{P_1}{D_1} + \dfrac{P_2}{D_2} + \dfrac{P_3}{D_3} + \ldots}$$

igualdad que, para un gramo de aleación, toma la forma

$$d = \frac{1}{v_1 + v_2 + v_3 + \ldots} = \frac{1}{\dfrac{p_1}{D_1} + \dfrac{p_2}{D_2} + \dfrac{p_3}{D_3} + \ldots}$$

designando con las letras minúsculas v y p seguidas de un índice los volúmenes y pesos proporcionales de sus componentes[7].

Para formarnos una idea del grado de aproximación que se puede lograr por este procedimiento bastará examinar el cuadro de la página 124.

NOTA II

El invar no es una simple yuxtaposición de átomos, al contrario, por ser un acero al níquel tiene una constitución muy complicada la cual necesariamente influirá en los resultados.

Los aceros, en efecto, o contienen los compuestos químicos llamados carburos, o pueden encerrar átomos de carbono sin combinarse los cuales a la temperatura ordinaria no obedecen la ley de DULONG y

---

[7] En la fórmula $A_1\, d\, \dfrac{Nn}{M}$ la letra A_1 designará cualquiera de los valores p_1, p_2, p_3, ...

PETIT debido a que el elemento carbono es una de las excepciones de dicha ley.

Por consiguiente, el producto de la potencia eléctrica por el volumen atómico ideal del invar no será igual al valor constante que hemos hallado para las otras aleaciones. Si bien observaremos que el producto de que se trata, esto es, 0,05, no difiere sensiblemente del valor de dicha constante, o sea, 0,04.

CONCLUSIONES

A continuación vamos a exponer tres de las diversas conclusiones que se pueden sacar de este trabajo:

1. La capacidad calorífica del átomo, o calor atómico, tiene, según la ley de DULONG y PETIT, un valor constante. Ahora bien, de todo lo expuesto se deduce que *dicha ley subsiste* ya se encuentre el átomo junto a otros de la misma especie formando un elemento o ya se halle rodeado por otros átomos de diferentes especies formando una aleación.

2. En el fenómeno de la transformación de la energía eléctrica en calorífica se tiene que, para una misma potencia eléctrica, la temperatura subirá más en los conductores constituidos por los elementos cuyos átomos tienen un gran volumen o por las aleaciones que poseen un volumen atómico ideal considerable.

   El volumen atómico es grande en los elementos de peso atómico grande y densidad pequeña. Este volumen, naturalmente, no depende de nosotros. Con el volumen atómico ideal sucede lo contrario, pues podemos lograr a voluntad que tenga el valor más conveniente. Por ejemplo, para que este volumen sea considerable emplearemos en la elaboración de la mezcla elementos con peso atómico considerable y densidad mínima.

3. En un tratado de física hemos hallado el siguiente relato: "tres conductores de naturaleza diferente, esto es, uno de cobre, otro de hierro y el tercero de manganina, y con una misma sección los tres, son colocados en serie en un circuito que tiene intercalado un reóstato; para un valor dado de la intensidad, se desprende más calor por unidad de longitud en la manganina que en el hierro y en el hierro que en el cobre porque la resistividad de la manganina es mayor que la del hierro y la de éste mayor que la

del cobre, y porque los calores específicos de estos cuerpos difieren entre sí mucho menos que sus resistividades".

Pero hay vaguedad en esta explicación porque si en aquel experimento sus autores hubieran utilizado un conductor de plata y otro de cobre en lugar de los mencionados habrían observado que en la plata, no obstante tener una resistividad menor, se desprendía más calor que en el cobre si bien es cierto que el cobre tiene un calor específico mayor.

Por el contrario, la explicación clara y exacta del fenómeno relatado la obtenemos de la aplicación de la ley que relaciona la potencia eléctrica al volumen atómico.

BIBLIOGRAFIA

En conexión con este trabajo fueron consultadas las siguientes tablas·

HODGMAN, Ch. D.—Handbook of chemistry and physics, 43 RD ed., 1961-1962. Published by Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland, Ohio. U.S.A.

LANGE, N. A.—Handbook of chemistry. Handbook Publishers, Inc., Sandusky, Ohio, U.S.A. 1946.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL.—International critical tables of numerical data, physics, chemistry and technology, 1933. McGraw - Hill Book Co. Inc. New York and London.

SMITHSONIAN PHYSICAL TABLES.—Publication 3171, Smithsonian Institution, Washington, 1934.

SOCIETE FRANCAISE DE PHYSIQUE.—Recueil de constantes physiques. Gauthier - Villars, París, 1913.

PROPIEDADES FISICAS Y OTROS DATOS

Nombre	Composición por peso	c Calor específico cal./g. 20° C.	d Densidad g./cm.^{3} 20° C.	ρ Resistividad ohm-cm. 20° C.	S Area de la sección recta del conductor cm.^{2} 20° C.	l Longitud del conductor cm. 20° C.	R Resistencia del conductor ohm 20° C.	m Masa del conductor g
Platino - iridio	$90Pt + 10Ir$	0,0323	21,62	$24{,}57 \cdot 10^{-6}$	0,000509	27	1,303320	0,297
Constantán	$60Cu + 40Ni$	0,0988	8,40	$44{,}20 \cdot 10^{-6}$	0,020815	30	0,063704	5,245
Latón o metal Muntz	$60Cu + 40Zn$	0,0917	8,40	$8{,}54 \cdot 10^{-6}$	0,052603	26	0,004221	11,488
Manganina	$84Cu + 12Mn + 4Ni$	0,0974	8,50	$44{,}00 \cdot 10^{-6}$	0,013089	40	0,134464	4,450
Invar	$63{,}8Fe + 36{,}0Ni + 0{,}2C$	0,1200	8,00	$78{,}00 \cdot 10^{-6}$	0,033104	37	0,087180	9,799

MOLECULA GRAMO Y ATOMICIDAD DE LOS COMPONENTES

Nombre	Símbolo	M Molécula gramo g	n Atomicidad
Carbono	C	12,01	1
Cobre	Cu	63,54	1
Hierro	Fe	55,85	1
Iridio	Ir	192,20	1
Manganeso	Mn	54,94	1
Níquel	Ni	58,71	1
Platino	Pt	195,09	1
Zinc	Zn	65,38	1

$N = 6{,}0251 \cdot 10^{23}$ (Número de Avogadro)

VOLUMEN ATOMICO IDEAL

Nombre y densidad	A_1 Composición por gramo de peso	$\Sigma A_1 d \frac{Nn}{M} = \nu$ Número de átomos contenidos en un centímetro cúbico		$1/\nu$ Volumen atómico ideal cm.³
Platino - iridio d = 21,62	Pt = 0,9 g Ir = 0,1 g	Atomos de Pt Atomos de Ir	0,9dNn/M = 60,0934 . 10^{21} 0,1dNn/M = 6,7774 . 10^{21} ν = 66,8708 . 10^{21}	1,49 . 10^{-23}
Constantán d = 8,40	Cu = 0,6 g Ni = 0,4 g	Atomos de Cu Atomos de Ni	0,6dNn/M = 47,7911 . 10^{21} 0,4dNn/M = 34,4819 . 10^{21} ν = 82,2730 . 10^{21}	1,21 . 10^{-23}
Latón o metal Muntz d = 8,40	Cu = 0,6 g Zn = 0,4 g	Atomos de Cu Atomos de Zn	0,6dNn/M = 47,7911 . 10^{21} 0,4dNn/M = 30,9640 . 10^{21} ν = 78,7551 . 10^{21}	1,27 . 10^{-23}
Manganina d = 8,50	Cu = 0,84 g Mn = 0,12 g Ni = 0,04 g	Atomos de Cu Atomos de Mn Atomos de Ni	0,84dNn/M = 67,7041 . 10^{21} 0,12dNn/M = 11,1860 . 10^{21} 0,04dNn/M = 3,4892 . 10^{21} ν = 82,3793 . 10^{21}	1,21 . 10^{-23}
Invar d = 8,00	Fe = 0,638 g Ni = 0,360 g C = 0,002 g	Atomos de Fe Atomos de Ni Atomos de C	0,638dNn/M = 55,0619 . 10^{21} 0,360dNn/M = 29,5559 . 10^{21} 0,002dNn/M = 0,8026 . 10^{21} ν = 85,4204 . 10^{21}	1,17 . 10^{-23}

Nombre	Densidad observada	Densidad calculada
Platino - iridio	21,6	21,5
Constantán	8,4	8,9
Latón o metal Muntz	8,4	8,0
Manganina	8,5	8,6
Invar	8,0	8,1

RELACION ENTRE LA POTENCIA ELECTRICA Y EL VOLUMEN ATOMICO IDEAL

Nombre	E volt.	I amp.	S cm.^{2}	$\frac{I}{S}$ amp./cm.^{2}	$E\frac{I}{S}$ vat.	Volumen atómico ideal cm.^{3}	$E\frac{I}{S}$. Volumen atómico ideal
Platino - iridio	$0,88 \ . \ 10^{-3}$	0,0182	0,000509	35,870	0,031	$1,49 \ . \ 10^{-23}$	$0,04 \ . \ 10^{-23}$
Constantán	$1,29 \ . \ 10^{-3}$	0,6070	0,020815	29,163	0,037	$1,21 \ . \ 10^{-23}$	$0,04 \ . \ 10^{-23}$
Latón o metal Muntz	$0,54 \ . \ 10^{-3}$	3,3621	0,052603	63,916	0,034	$1,27 \ . \ 10^{23}$	$0,04 \ . \ 10^{-23}$
Manganina	$1,28 \ . \ 10^{-3}$	0,3819	0,013089	29,182	0,037	$1,21 \ . \ 10^{-23}$	$0,04 \ . \ 10^{-23}$
Invar	$1,84 \ . \ 10^{-3}$	0,7816	0,033104	23,611	0,043	$1,17 \ . \ 10^{-23}$	$0,05 \ . \ 10^{-23}$

$t = 120$ seg.
$\theta^\circ - \theta^\circ_1 = 1,3^\circ$ C.
$J = 4\,181$ julios a 20° C.

PROPIEDADES FISICAS Y OTROS DATOS

Sustancia	c Calor específico cal./g 20° C.	d Densidad g/cm.^{3} 20° C.	ρ Resistividad ohm-cm. 20° C.	S Aréa de la sección recta del conductor cm.^{2}	I Longitud del conductor cm.	R Resistencia del conductor ohm	m Masa del conductor g
Aluminio	0,2140	2,70	$2{,}8240 \cdot 10^{-6}$	0,013089	27	0.00582535	0,954
Cobre	0,0921	8,89	$1{,}7241 \cdot 10^{-6}$	0,008235	35	0,00732768	2,562
Hierro	0,1070	7,80	$10{,}0000 \cdot 10^{-6}$	0,052603	32	0,00608330	13,129
Magnesio	0,2460	1,74	$4{,}6000 \cdot 10^{-6}$	0,020815	23	0,00508287	0,833
Plata	0,0558	10,50	$1{,}5900 \cdot 10^{-6}$	0,005176	30	0,00921561	1,630
Zinc	0,0925	7,10	$5{,}8000 \cdot 10^{-6}$	0,033104	19	0,00332890	4,465

INCREMENTOS DE TEMPERATURA

Sustancia	I Intensidad de la corriente amp.	t Tiempo seg.	SEGUN: $\dfrac{\rho\left(\dfrac{I}{S}\right)^2 t}{J\ dc} = \theta^\circ - \theta^\circ_1$	$\dfrac{R\ I^2\ t}{J\ mc} = \theta^\circ - \theta^\circ_1$
Aluminio	2,0	60	1,6° C.	1,6° C.
Cobre	2,5	25	1,1° C.	1,1° C.
Hierro	4,0	90	1,5° C.	1,5° C.
Magnesio	2,2	25	0,7° C.	0,7° C.
Plata	1,3	10	0,4° C.	0,4° C.
Zinc	3,0	125	2,1° C.	2,1° C.

J = 4,181 julios a 20° C.

DATOS SOBRE MOLECULAS, ATOMICIDADES Y VOLUMENES

Sustancia	M Molécula gramo g	n Atomicidad	M/d Volumen molécula gramo cm.^{3}	M/nd Volumen átomo gramo cm.^{3}	M/ndN Volumen atómico cm.^{3}
Aluminio	26,97	1	9,99	9,99	$1{,}66 \cdot 10^{-23}$
Cobre	63,54	1	7,15	7,15	$1{,}18 \cdot 10^{-23}$
Hierro	55,85	1	7,16	7,16	$1{,}19 \cdot 10^{-23}$
Magnesio	24,32	1	13,98	13,98	$2{,}32 \cdot 10^{-23}$
Plata	107,88	1	10,27	10,27	$1{,}70 \cdot 10^{-23}$
Zinc	65,38	1	9,21	9,21	$1{,}53 \cdot 10^{-23}$

RELACION ENTRE LA POTENCIA ELECTRICA Y EL VOLUMEN ATOMICO

Sustancia	E volt.	I amp.	S cm.^{2}	$\frac{I}{S}$ amp./cm.^{2}	$E\frac{I}{S}$ vat.	Volumen atómico cm.^{3}	$E\frac{I}{S}$. Volumen atómico
Aluminio	$0{,}27 \cdot 10^{-3}$	1,2590	0,013089	96,187	0,026	$1{,}66 \cdot 10^{-23}$	$0{,}04 \cdot 10^{-23}$
Cobre	$0{,}25 \cdot 10^{-3}$	1,2077	0,008235	146,654	0,036	$1{,}18 \cdot 10^{-23}$	$0{,}04 \cdot 10^{-23}$
Hierro	$0{,}61 \cdot 10^{-3}$	3,2340	0,052603	61,479	0,037	$1{,}19 \cdot 10^{-23}$	$0{,}04 \cdot 10^{-23}$
Magnesio	$0{,}30 \cdot 10^{-3}$	1,3510	0,020815	64,905	0,019	$2{,}32 \cdot 10^{-23}$	$0{,}04 \cdot 10^{-23}$
Plata	$0{,}20 \cdot 10^{-3}$	0,6687	0,005176	129,192	0,026	$1{,}70 \cdot 10^{-23}$	$0{,}04 \cdot 10^{-23}$
Zinc	$0{,}41 \cdot 10^{-3}$	2,3707	0,033104	71,613	0,029	$1{,}53 \cdot 10^{-23}$	$0{,}04 \cdot 10^{-23}$

$t = 120$ seg.
$\theta^\circ - \theta^\circ_1 = 1{,}3^\circ$ C.