
ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS

INTRODUCCION A LA METALURGIA GENERAL

TEMPERATURA DE COMBUSTIÓN

(Continuación.)

Encontraremos por ejemplo 1500° sea una caída de temperatura de $1760 - 1560 = 200$ grados ó $11,3\%$.

Si se repite la experiencia en el alto-horno, se encuentra sólo 1300° , de manera que los gases llegan fuera del laboratorio con una pérdida de

$$\frac{(1760 - 1300) 100}{1760} = 26\%$$

Si la operación metalúrgica no absorbe calor, como en el caso del pudolage de fierro, esta pérdida es debida únicamente al enfriamiento de las paredes del horno y también á la combustión incompleta de los gases. Se puede decir que el 20% del calor desarrollado por la combustión es empleado á luchar contra el desperdicio del calor por radiación y trasmisión por las paredes.

Calculamos la pérdida de calor por los paramentos.

1.º *Calor que se lleva el humo.*—Con una chimenea de 40 metros de altura es bastante dar á los gases una temperatura de 200° para tener buen tiraje; la pérdida relativa será entonces

$$\frac{200^{\circ} \times 100}{1760} = 12,5\%$$

2.º *Calor empleado en producir calor.*—1^k de combustible puro produce 4^k,910 de vapor con 5^k de presión efectiva, el calor empleado será

$$\frac{(654-34) \text{ cal.} \times 4,96 \times 100}{7500 \text{ cal.}} = 41,3\%$$

3.º *Calor empleado en calentar y fundir fierro colado.*—7%: total del calor empleado útilmente $12,50 + 41,3 + 7 = 60,8\%$.

Término medio se quema 65^k de hulla por 100^k de fierro afinado; el calor específico del fierro colado es 0,21, calor de fusión = 50, se gasta:

a	Para elevar el fierro colado á 1100°...	100 k. × 1100 × 0,21 =	23100 calorías
b	Para fundirlo.....	100 + 50.....	= 5000 »
c	Para calentar á.....	1560°: 100 (1560—1100) 0,21 =	966 »

Calor absorbido por el fierro colado..... = 29066 calorías

Sea:

$$\frac{100 \times 29066 \text{ cal.}}{65 \times + 7500 \text{ cal.}} = 6 \text{ á } 7\%$$

del calor producido por el combustible; el calor empleado útilmente es 60,8%; queda una pérdida total de 40% que no sirve ni al tiraje, ni á la producción del vapor, ni al calentamiento del metal.

Ahora si de estos 60,8% se quitan los 40% quedan 20,8%.

Se puede según Lencauchez atribuir las pérdidas parciales á 20%; entonces $40 - 20 = 20\%$ representa la pérdida mediana del calor por radiación y trasmisión de los ladrillos de las paredes del horno.

La pérdida del calor no se puede evitar de una manera absoluta, los buenos aparatos disminuyen los desperdicios sin anularlos. Sin embargo, como la pérdida alcanza á una cantidad apreciable, se ha buscado medios de aprovecharla por medio de

la recuperación y de la acumulación o regeneración; la recuperación no puede utilizar en su totalidad el calor disponible en cada aparato. Llamemos T la temperatura de las llamas en la salida del horno ó á la entrada en el recuperador; si se admite una diferencia de 150° entre la temperatura del gas á la entrada en el recuperador y la temperatura del aire á su salida, el aire tomado á 0° saldrá del recuperador á $(T-150)$; este aire es una fracción del aire total empleado; sea r , la fracción sometida á la recuperación, la cantidad de calor que se llevará será

$$(1) R = (T - 150^{\circ}) \times 10^{\text{m}^3} \times r \times 0,238$$

Sea P , la potencia calorífica del combustible, V , la cantidad de calor utilizado para la vaporización, si en lugar de un recuperador había una caldera.

Utilización con recuperador

$$(2) \frac{R}{P} = \frac{(T - 150) 10^{\text{m}^3} \times 2 \times 0,238}{P}$$

Utilización con una caldera de vapor

$$(3) \frac{V}{P} = \frac{(606,5 + 0,305 t) p}{P}$$

p = peso del vapor producido por 1^{k} de hulla quemada,

t = temperatura correspondiente á la presión de la caldera.

Supongamos $T = 1300^{\circ}$, $r = 0,70$, la fórmula (1) da por la cantidad de calor utilizado para calentar el aire

$$R = (1300^{\circ} - 150^{\circ}) \times 10^{\text{m}^3,00} \times 0,70 \times 0,230 = 1930 \text{ calorías}$$

la utilización del aparato de recuperación colocado en el horno es entonces

$$\frac{R}{P} = \frac{1756}{7500} = 25\%$$

La utilización de la caldera sería $\frac{V}{P} = 41\%$

la diferencia entre la caldera y el recuperador será $41 - 25\% = 16\%$ en favor de la caldera.

La recuperación utiliza cerca de la mitad del calor que se llevan las llamas, la vaporización utiliza muy cerca de la totalidad; además el recuperador ocupa una superficie doble de la superficie de la caldera. Sería abusar demasiado al examinar y discutir los varios problemas que contenidos en este primer capítulo de introducción de la metalurgia general que hemos llamado: *combustibles, combustión, empleo del calor*.

II

TERMO-QUÍMICA—DISOCIACIÓN—ESPECTROCOPIA

La química alumbra de día en día, más los procedimientos de la metalurgia; nadie niega la alta influencia que la ciencia química ha tenido sobre los adelantos más notables que la metalurgia ha experimentado en los últimos años. La metalurgia del oro, de la plata, del cobre, del níquel, del aluminio, del hierro, se ha perfeccionado por la intervención de la química en el dominio de la metalurgia, los descubrimientos relativos á los aceros muy variados, á los aceros Bessemer, Bessemer-Martín, la desfosforación, el ferro-manganeso, del ferro-silicio, etc, han transformado la industria del hierro.

La termo-química ha venido también en ayuda de la metalurgia, para explicar reacciones inexplicables hasta hoy y pre-

ver reacciones que permiten combinaciones desconocidas. Hoy día el estudiante ingeniero que quiera ingresar al estudio de la metalurgia, debe poseer los conocimientos de la química y de la termo-química.

Las leyes de la termo-química explican las anomalías aparentes, señaladas en los valores de la potencia calorífica de algunos cuerpos y permiten deducir las temperaturas de combinación e indicar las combinaciones posibles y las que no lo son.

Recordaremos lo que tiene de esencial la termo-química desarrollada con precisión por M. Berthelot en su libro *Essai de mécanique-chimique*. El sabio químico del *Institut de France* distingue combinaciones *exotérmicas* ó con producción de calor y combinaciones *endo-térmicas* ó con absorción de calor.

El estudio de los fenómenos térmicos produciéndose en las acciones químicas han conducido á Berthelot á formular los principios y teoremas siguientes:

1.º *Principio del trabajo molecular*: la cantidad de calor producido en una reacción cualquiera mide la suma de los trabajos químicos (combinaciones y descomposiciones) y físicos (cambiamientos de estado, condensaciones) realizadas en esta reacción.

Sea 1 gr. de hidrógeno + 35,5 gr. de cloro = 36,5 gr. de ácido clorhídrico sin haber cambiado de volumen desarrollan 22 calorías, es decir que el calor de combinación del hidrógeno y del cloro es de 22 calorías. 1 gr. hidrógeno, más 8 de oxígeno uniéndose produce 9 gr. de vapor de agua sin cambiar de presión y producen una cantidad de calor igual á 29 calorías.

Este calor 29 calorías (ó 29,000 si se toma el kilog.) representa á la vez, el calor correspondiente al trabajo químico á volumen constante y el trabajo físico necesario en la condensación de los 3 volúmenes si los gases componentes es dos volúmenes de vapor de agua.

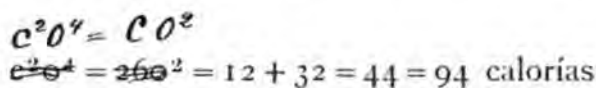
Ahora 1 gr. de hidrógeno + 8 gr. de oxígeno = 9 gr. de agua líquida: y se ha producido 34,5 calor.

Esta cantidad de calor comprende: 1.º el calor correspondiente al trabajo químico; 2.º el calor correspondiente á los trabajos físicos, es decir, contracción de 3 volúmenes de gases en 2 volúmenes de vapor de agua y condensación del vapor de agua al estado líquido.

El calor de combinación mide la afinidad de los cuerpos: el trabajo de la afinidad tiene por medida la cantidad de calor desarrollado en las transformaciones químicas de la combinación, así es que la combinación del H con el Cl para formar H Cl produciendo 22 calorías, la descomposición del H Cl en cloro é hidrógeno necesita una absorción de 22 calorías.

2.º *Principio de equivalencia calorífica de transformación química: ó principio del estado inicial y del estado final.* Si un sistema de cuerpos simples ó compuestos, tomado en condiciones determinadas, experimenta combinaciones físicas ó químicas capaces de conducir á un nuevo estado (sin dar lugar á un efecto mecánico exterior al sistema), la cantidad de calor producido ó absorbido depende únicamente del estado inicial y del estado final del sistema, es la misma cualquiera que sea la naturaleza y la sucesión de los estados intermediarios. Como ejemplo de la constancia del calor, tomaremos la transformación del carbono y del oxígeno en ácido carbónico por dos vías diferentes.

1.º 12 gr. de carbono puro, diamante, combinándose con 32 gr. de oxígeno para formar ácido carbónico producen 94 calorías.



2.º 12 gr. de carbono puro con 16 de oxígeno forman 28 gr. de óxido de carbón CO ($C^2O^2 = C^2 + O^2$) produciendo 25,8 calo-

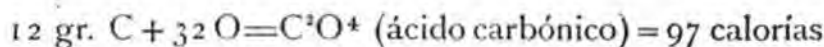
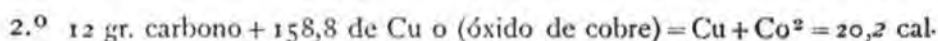
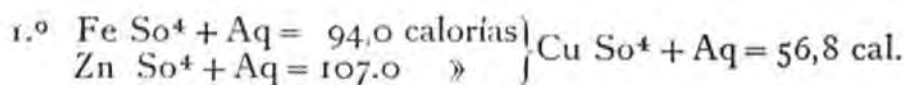
rías; combinando los 28 gr. de óxido de carbono con 16 gr. de oxígeno formaremos 44 gr. de ácido carbónico ($C^2 O^1$) á ($C^2 O^2 + O^2 = C^2 O^1$) produciendo 68,2 calorías; la suma $68,2 + 25,8 = 94$ calorías.

$$c + o^2 = 94 \text{ calorías} = (c + o = 25. \text{ cal.}) + (co + o = 68,2 \text{ calorías})$$

3.º *Principio de trabajo máximo.* Toda combinación química realizada sin la intervención de un cuerpo extraño (calor, electricidad, luz) tiende hacia la producción del cuerpo ó sistema de cuerpos que producen el mayor calor. Este principio ó ley, permite prever las reacciones que deben efectuarse en ciertas condiciones.

De esta proposición se deduce el siguiente corolario: «toda reacción química capaz de ser realizada sin el concurso de un trabajo preliminar y fuera de la intervención de una energía extraña se produce necesariamente si ella derrama calor.

Citaremos algunos ejemplos del principio del trabajo máximo. El cobre es precepitado del sulfato de cobre por el zinc ó el hierro, porque la formación del sulfato de zinc ó de hierro produce una mayor cantidad de calor que la formación del sulfato de cobre.



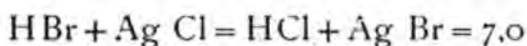
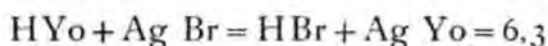
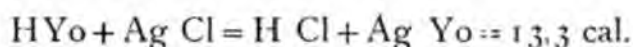
$97 - 20,2 = 2 \times 38,4 = 76,8$, calor producido por la combinación del cobre con el oxígeno. Resulta de este último ejemplo que si un compuesto cede un sólo elemento á otro cuerpo, el calor producido en la reacción es la diferencia entre el calor desarrollado para la formación del nuevo compuesto, por medio

del elemento libre y el calor producido por la formación del nuevo compuesto, por medio del mismo elemento libre.

Por medio de la termo-química empleando el colorario se deduce del principio del trabajo máximo, las mutaciones del cloro, bromo, iodo, azufre, oxígeno, etc., los unos á los otros pueden ponerse así:

H + HCl gas = HCl gas produciendo por su combinación	22 calorías	
H + Br gas = H Br gas.	13,4	»
H + Yo gas = H Yo.	0,8	»
H + S gas = HS gas.	8,3	»
H + O gas = HO gas.	29,5	»
H + Cl gas = HCl en disolución.	39,3	»
H + Br gas = HBr íd.	33,5	»
H + Yo gas = H Yo íd.	18,6	»
H + S gas = HS íd.	4,6	»
H + O gas = HO líquido.	34,5	»

La acción de los hidrácidos sobre las sales formadas por los elementos halogéneos, es en general, inversa de las acciones de los elementos mismos, así

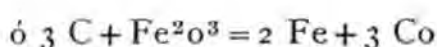
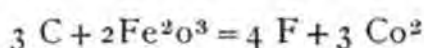


La termo-química es hoy una guía preciosa para interpretar las reacciones en los hornos y focos metalúrgicos. Los siderurgistas ya la aplican; en el instituto del fierro y acero (*iron and steel institute*) varios metalurgistas como Mr. Pouriel, M. Snellus, M. Lowthian Bell, han presentado trabajos importantes sobre la aplicación de la termo-química á las reacciones de la metalurgia.

Nuestro amigo, el sabio metalurgista M. Ferdinand Gautier ha demostrado desde 1886, la acción del ferrosilicium sobre la transformación del hierro colado blanco en el hierro colado gris, ha sido conducido á formular esta condición de buen éxito «el manganeso debe evitarse para obtener el pleno efecto del silicio.»

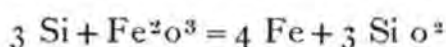
M. Lowthian Bell cree que en la metalurgia actual, las cantidades de calor producidas en las reacciones químicas pueden servir para indicar los caracteres de las mutaciones que pasan cuando diferentes sustancias se encuentran en presencia, citaremos de M. Lowthian Bell un ejemplo de la práctica industrial suya que confirma las leyes termo-químicas.

El eminente sederurgista buscando tener una idea exacta del límite extremo de la baja de temperatura en la cima del alto horno; por esto se necesitaba conocer la cantidad de calor producida por la conversión del óxido de carbono en ácido carbónico, y también si dicha cantidad era mayor ó menor que la cantidad que absorbía la reducción del peróxido de fierro, al pasar al estado metálico y al estado de subóxido de fierro. Verifico por la termo-química que la elevación de la temperatura debe ser muy pequeña; entonces hizo una experiencia en grande escala; reemplaza el óxido de hierro de las cargas del horno, por una mezcla de carbonato de cal y de escorias donde la fusión debía operarse á una parte bastante inferior del horno, para no influenciar sobre el estado del *gnetlard* (boca), verificó un enfriamiento muy sensible en la parte alta del horno; volvió entonces á las cargas ordinarias con el óxido de hierro y verificó una elevación de temperatura sensiblemente igual al enfriamiento verificado anteriormente; había verificación de la teoría y exceso de calor en esta experiencia. Supongamos ahora que en un baño de fierro colado se encuentren carbono, silicium, azufre, fósforo. Con el carbono, según la temperatura en presencia del óxido de fierro tendremos:

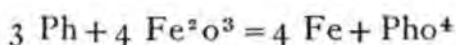


el análisis de los gases saliendo del convertidor Bessemer prueban que durante una gran porción de la operación se produce únicamente ácido carbónico, porque á la temperatura relativamente baja de este periodo el ácido carbónico es estable, más tarde, la temperatura elevándose, se forma óxido de carbono más estable y este gas se forma hasta la conclusión de la operación.

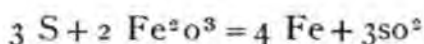
Sobre Sole, como en el Bessemer ó á una temperatura relativamente baja se forma ácido carbónico y cuando la temperatura se levanta, el óxido de carbono, con el silicio, tendremos la reacción



con el fósforo



con el azufre



Si se considera un hierro colado con 3 de carbono 2 de silicio las reacciones anteriores tendrán lugar.

18 de C piden 100 de Fe^2O^3 para dar 112 de fierro y 66 de ácido carbónico.

3 de carbono 26, 611 id.

2 de silicio descompondrán 7, 6 de Fe^2O^3 para dar 5,6 de fierro y 4,2 de silicio.

Se necesita $34,2 = 26,6 + 7,6$ de óxido de fierro para 100 de

hierro colado y 23.9 partes de hierro para pasar al estado metálico.

Ahora haciendo intervenir la cantidad de calor de combinación.

Tomamos $\sqrt{15,82}$ calorías para representar la cantidad de calor producido por la oxidación del hierro pasando al estado de 1^o de Fe^2O_3 , es también la cantidad de calor absorbido por la reducción de dicho óxido de hierro al estado metálico. Se necesitará entonces para descomponer 34.2 de óxido de hierro

$$34.2 \times 1582 = 54000 \text{ calorías.}$$

los 3 de carbono pasando al estado de ácido carbónico darán

$$3 \times 8080 = 24240 \text{ calorías.}$$

Para el silicio

$$3 \times 7830 = 15460 \text{ calorías.}$$

calor total producido $24240 + 15460 = 39700$ calorías en número redondo 40000 calorías. Faltan $54000 - 40000 = 14000$ calorías.

Se necesita entonces una calefacción exterior para llenar los 14000 calorías que faltan.

Sin embargo, no es bastante que el baño de hierro colado sea elevado á la temperatura de 1400° , se necesita que la temperatura llegue al punto de la fundición de acero y mismo un poco más. La cantidad de calor contenido en el baño es para 100 de metal agregando 34.2 de peróxido de hierro de 187800 calorías.

La operación concluída, el baño contiene 95 de metal, más 23 partes de metal reducido, más 4.2 de silicio, que deben elevarse á la temperatura de 2000° , lo que hace 246000 calorías; agregando 72000 calorías y además lo que se necesita para completar las pérdidas por radiación, convección, etc.

La termo-química abre un vasto campo de estudios á los metalurgistas y á los industriales que trabajan los metales. Veamos ahora la influencia que tiene la disociación sobre las temperaturas en los hornos y focos del metalurgista.

DISOCIACIÓN

Los hornos metalúrgicos conteniendo materias incandescentes á altas temperaturas, es el lugar donde se producen fenómenos de disociación que perturbaban á los metalurgistas de los tiempos pasados.

El estudio de la disociación tiene mucha importancia para el ingeniero que emplea el calor.

Consideremos un cuerpo compuesto calentado hasta una cierta temperatura, se descompone ó se disocia.

Contando desde la temperatura inicial de la disociación, una porción del calor recibido por el cuerpo, se gasta en este fenómeno; se admite que la disociación de una sustancia, consume la misma cantidad de calor que produce la combinación.

Para tener una idea exacta del fenómeno, tomaremos un ejemplo concreto, el caso del vapor de agua. Cuando se calienta en un vaso cerrado á una temperatura superior á 1000° , que llamaremos T , el vapor se descompone parcialmente en oxígeno é hidrógeno; pero la descomposición cesa cuando la tensión de la mezcla del oxígeno y del hidrógeno llega á un cierto valor S . Si entonces se levanta la temperatura á T' la descomposición parcial aumenta, la cantidad de oxígeno é hidrógeno libre aumenta, y la descomposición cesa otra vez cuando la tensión de la mezcla ha adquirido un valor S' superior á S . Si ahora se hace la experiencia en sentido contrario, si se pasa de la temperatura T' á la temperatura T una porción de los gases oxígeno é hidrógeno se combinan, y entonces la tensión baja de S' á S correspondiente á la temperatura T .

Así es que si la temperatura va creciendo de T á T' , T'' T''' la tensión de los gases va también creciendo de S , á S' , S'' S''' con las cantidades mayores de oxígeno é hidrógeno puestos en libertad; por el contrario, si la temperatura del vapor de agua disminuye, baja de T''' á T disminuyendo también las tensiones de S''' á S con las cantidades de gases en libertad.

La tensión de los gases de la disociación es siempre limitada y constante; crece ó disminuye con la temperatura y es independiente de la cantidad de agua descompuesta.

La tensión S de los gases disociados á una temperatura T , se llama la tensión de disociación á esta temperatura y crece con rapidez cuando la temperatura aumenta.

Se debe notar que el modo de descomposición llamado disociación por H. Sainte Claire Deville está limitado por el fenómeno inverso de combinación parcial á la misma temperatura. Así cuando un cuerpo se disocia á una temperatura T , tendremos en el vaso cerrado, en presencia uno de otro y en un estado de equilibrio, el cuerpo compuesto y sus componentes.

Los fenómenos de combustión presentan algunas veces contradicciones que explica la disociación; también en los focos industriales á veces la disociación impide las combinaciones que se efectúan por un cambio de temperatura y rebajan las temperaturas que imposibiliten la disociación.

Las temperaturas obtenidas por la combustión de un combustible con el oxígeno puro son realmente inferiores á las temperaturas sacadas por el cálculo. Sainte Claire Deville y Debray han determinado la temperatura de la combustión del hidrógeno y del oxígeno estimada en 2500° ; Bunsen la ha determinado en volúmenes constantes avaluándola en 2844 grados; el cálculo da para la combustión de los dos gases 6788 grados ¿cuál es la causa de esta diferencia? Lo mismo pasa con la combustión del óxido de carbono; Sainte Claire ha sacado 2600 á 2700 á la

presión de la atmósfera, Bunsen 3000° bajo la presión de 9 á 10 atmósferas; el cálculo da para dicha temperatura 7067° .

La disociación explica este desacuerdo aparente entre la experiencia y el cálculo; el cálculo supone la combustión completa, en realidad no es sino parcial. En efecto, contando desde una cierta temperatura correspondiendo á la tensión de disociación, la combinación no se opera más desde entonces la temperatura no puede elevarse. En la mezcla gaseosa se queda una cierta cantidad de hidrógeno y oxígeno no combinado que se conducen como gases inertes. La temperatura de disociación aumenta con la tensión, lo que explica la temperatura más alta observada por Bunsen.

Se puede calcular la proporción de gas combustible no combinado y este cálculo se necesita á veces en las investigaciones de la ciencia metalúrgica. Partimos de la temperatura de combustión sacada por la experiencia por Sainte Claire Deville en la combustión del hidrógeno con el oxígeno, es 2500° . Llamemos m la fracción de hidrógeno combinado por 1k de gas empleado, $m-1$ es la fracción no combinada: 1 de hidrógeno exige 8 de oxígeno para quemarse; fracción combinada = $8m$, fracción no combinada $8(1-m)$; el calor producido por la combustión del hidrógeno = $2900m$.

Los gases de la combustión son

vapor de agua pesando $9m$,

hidrógeno $(1-m)$

oxígeno $8(1-m)$

El calor absorbido por los gases es igual al calor producido por la combustión; tendremos $29000m = 9m \times 948T + (1-m)3,40T + 8(1-m)0,2182T$.

$T = 2500$. $29000m = 9m \times 0,48 \times 2500 + (1-m)3,40 \times 2500 + 8(1-m)0,2182 \times 2500$, de donde se saca m : $m = 0,45$, un poco más

de la mitad del hidrógeno ó 0,55 no se combina. Por la experiencia de Sainte Claire Deville i Debray, se tendrá:

Vapor de agua.....	0,45 × 9.....	4,05 k.....	
Volumen			$\frac{4,05}{0,808} = 5^{\text{m}^3}049$
Oxígeno.....	0,55 × 8.....	4,40 k.....	
Volumen.....			$\frac{4,40}{1,43} = 3^{\text{m}^3}077$
Hidrógeno.....	0,55 × 1.....	0,55 k.....	
Volumen.....			$\frac{0,55}{0,089} = \frac{6^{\text{m}^3}145}{\cancel{2}}$
Peso total.....		9,00 k.	volumen total $14^{\text{m}^3}271$

La tensión de la disociación es $\frac{5,049}{14,271} = 0^{\text{at}}353$ á la temperatura de 2500°.

Veamos ahora cuál es en la experiencia de Bunsen, la fracción de hidrógeno combinado. En este caso el volumen estando constante, tomaremos los calores específicos á volúmenes constantes; tendremos la relación como anteriormente:

$$29000 \text{ m} = 9 \text{ m} \frac{0,480}{1,41} T + (1-m) \frac{3,40}{1,41} T + 8(1-m) \frac{0,2182}{1,41} T$$

$$\text{ó } 29000 \text{ m} = 9 \text{ m} \times \frac{0,480}{1,41} \times 2844 + (1-m) \frac{3,40}{1,41} \times 2844 + 8(1-m) \frac{0,2182}{1,41} \times 2844$$

$$m = 0,347 \text{ se combina.}$$

Así 0,347 es la cantidad que se combina con el oxígeno; 0,653 ó cerca $\frac{2}{3}$ del hidrógeno no se combinará.

Peso del vapor de agua.....	0,347 k. × 9 = 3,123 k.	
Volumen á 0° y á 760 m/m.....		$3^{\text{m}^3}886$
Oxígeno.....	0,653 k. × 8 = 5,224 k.	
Volumen		$3^{\text{m}^3}653$
Hidrógeno	0,653.....0,653	
Volumen.....		$7^{\text{m}^3}296$
Peso total.....	9 k.	volumen total... $14^{\text{m}^3}833$ á 0° y á 760 m/m.

Volumen del oxígeno y del hidrógeno ante la combustión:

$$\frac{1}{0,0895} + \frac{8}{1,43} = 11,173 + 5,594 = 16,767$$

La tensión estando ya la temperatura de 2850°, sin que el volumen cambie,

$$\text{habemos } Y = \frac{14,833}{16,767} (1 + a \cdot 2844) = 0,844 \times 11,337 = 10,11$$

en la mezcla la tensión del vapor es

$$10,1107 \times \frac{3,884}{14,833} = 2,05 \text{ at.}$$

es la tensión de disociación α : 2844°.

ESPECTROSCOPIO Ó ANÁLISIS ESPECTRAL

Hoy día se emplea el espectroscopio para determinar con precisión el momento para concluir la operación en el trabajo del metal Bessemer. El empleo del espectroscopio para analizar la llama del Bessemer es debido a M. W. Bragge de Scheffield; M. Roscoe estudia el primero la llama; de las fábricas de acero inglesas, el descubrimiento pasa á Alemania, Suecia, Austria, Hungría, Bélgica, Francia, etc.

Supongamos un hierro colado que contiene por % puesta en el convertidor Bessemer:

hierro	91,825	} 100,000
carbono	2,850	
Silicio	2,145	
manganeso	3,180	

Durante el primer periodo de la operación, el hierro colado estando vertido en el convertidor, se da al viento. Entre los

Fe, Mn, Si, C. el fierro arde desde el principio, el silicio se oxida el primero para dar Silicia, el manganeso, se oxida en pequeña proporción, no hay productos volátiles; esta primera fosa está caracterizada por ausencia de llamas, producción de chispas (ácido silícico), ausencia de efervescencia, porque no se produce gases-carburados. Durante el segundo período, el carbono arde, llama, efervescencia producida por el óxido de carbono, el silicio continua á quemarse, el carbono pasa al estado de ácido carbónico y de óxido de carbono; á medida que la operación adelanta, la llama aumenta y la llama más viva que dan un espectro visible en el cual se verifican la presencia de los elementos entrados en la constitución de los fierros colados.

La terminación de la operación está indicada por la disminución de la intensidad de la llama, la desaparición de la efervescencia. En este momento el silicio y el carbono no se quema y más, el manganeso ha pasado al estado de óxido y se combina con la sílice, y el hierro quema en más fuerte proporción que anteriormente.

Las llamas de los dos períodos son muy distintas por su espectro como por su aspecto.

Recordemos los principios del análisis espectral:

1.º Cuando la luz es dada por un sólido ó un líquido incandescente el espectro continuo obtenido no tiene rayas ni brillantes ni oscuras;

2.º Cuando la luz viene de un vapor ó de un gas incandescente el espectro es discontinuo y tiene rayas brillantes, cuya naturaleza y posición en el espectro indican los elementos contenidos en el vapor ó los gases incandescentes;

3.º La luz de cualquiera origen y atravesando un gas ó un vapor oscuro, da lugar á la formación de rayas ó bandas de absorción. En el primer período de la operación del Bessemer, tenemos poco gas, una llama poco brillante, muchas chispas; tendremos entonces un espectro continuo. Durante el segundo pe-

modo de decarburación, una llama brillante, tendremos tres espectros superpuestos: 1.º espectro continuo, 2.º espectro con rayas brillantes; 3.º espectro con bandas de absorción.

No entra en nuestra intención el hacer un estudio detenido de la aplicación del espectroscopio á la metalurgia del hierro, nos contentaremos con decir que el análisis espectral hace conocer la marcha del trabajo en el convertidor Bessemer.

«Los procedimientos espectrocópicos sería un medio más fe-
» cundo que el análisis químico para determinar las velocidades
» relativas de eliminación de los diversos elementos de los fierros
» colados en la operación de Bessemer (Deshayes).»

El espectroscopio no sólo indica cuando el carbono y otros elementos están quemados en el convertidor Bessemer ó en el crisol, sino también nos indica la presencia de varios elementos que el análisis químico no verificaría.

El empleo del espectroscopio debe salir de la fábrica siderúrgica para entrar en la fabricación de los otros metales; porque este aparato indica á cada momento el estado de pureza del líquido metálico fundido y las variaciones que experimenta este líquido durante el período de fabricación.

III

ELECTRO-METALURGIA

La electricidad ha entrado en el dominio de la metalurgia práctica, la separación electrolítica de los metales, la refinadura del cobre, del plomo, etc., el tratamiento del oro, de la plata, del aluminio, del cobre, etc., son operaciones corrientes en varias fábricas de Europa y de los Estados Unidos. La electricidad es una fuerza que necesita para emplearla, conocerla de una manera perfecta. Los estudiantes de electrometalurgia antes de ingresar

en el curso de este ramo, de la electro-técnica, deben poseer al ménos los conocimientos que se relacionan con estos estudios y en particular las unidades y las medidas eléctricas, el rendimiento de las pilas, acumuladores, dinamos, etc. La producción de una corriente eléctrica exige siempre un gasto de trabajo ó de energía; esta energía puede producirse bajo tres formas principales: *calor, reacciones químicas, energía mecánica*. Según el principio de la conservación de la energía toda producción ó desaparición de energía eléctrica corresponde á una absorción ó á una producción de calor. En un circuito de cuerpos conductores se produce corriente eléctrica cuando el circuito contiene una fuente de energía; en las pilas esta energía está suministrada por las acciones químicas, en los dinamos el trabajo de un motor se transforma en corriente eléctrica. La experiencia ha verificado: 1.º que la cantidad de calor producida por una misma suma de acciones químicas es constante; 2.º cuando la corriente producida por éstas acciones químicas pasa en un conducto inmóvil, la cantidad de calor que desarrolla el pasaje de la corriente es igual á la cantidad que resulta de las acciones químicas durante el mismo tiempo; 3.º si la corriente determina el movimiento de una máquina, entonces, disminuye la cantidad de calor producida y la disminución tiene por equivalente el trabajo exterior hecho por la máquina en el mismo tiempo.

Pues las máquinas eléctricas transforman el trabajo ó la energía mecánica en energía eléctrica; para este objeto se utiliza las corrientes de inducción resultando del movimiento de un induito y de un campo magnético engendrado por un inductor.

El dinamo puede recoger todas las potencias de la naturaleza, sea cual fuese su origen, la fuerza del vapor, un salto de agua, el impulso del viento, etc., todo lo recoge y todo lo convierte en corrientes eléctricas. Salimos de estas generalidades y detenémonos en algunas cuestiones fundamentales, introducción á la *electro metalurgia*.

Unidades eléctricas.—Las unidades eléctricas del sistema C. G. S. estando de un empleo difícil, se ha adoptado un sistema de *unidades prácticas* en relación con las magnitudes que se midan ó se encuentran generalmente, el *Ampère* es la unidad práctica de intensidad, el *Coulomb*, de cantidad, el *Volt* de fuerza electro-motriz, el *Ohm* de resistencia, el *Farad*, de capacidad, el *Watt*, de fuerza ó potencia.

El *Ohm* es representado por una columna de mercurio de un milímetro cuadrado de sección y de 106 centímetros de longitud ó altura, á la temperatura de cero grado; corresponde á la resistencia de un hilo de cobre puro de un milímetro de diámetro y de 48 metros de longitud, ó bien á un hilo de fierro de 4 milímetros de diámetro y de 100 metros de longitud.

$$I = \frac{E \text{ volt.}}{R \text{ ohm}}$$

El valor del *ampère* es generalmente representado por la cantidad de plata depositada por segundo. Cuando un baño químico capaz de descomponerse es atravesado por una corriente, cada ampère pone en libertad 0,0375 gr. de hidrógeno en una hora y 0,0375 gr. \times equivalente químico de un cuerpo cualquiera disuelto en el baño.

Un ampère es la intensidad de la corriente que pone en libertad 4,05 gr. de plata en una hora en un baño electro-químico.

Si *D* es la diferencia de potencial entre las extremidades de un conductor, *R* la resistencia, *I* la intensidad, la ley de Ohm nos da

$$(1) I = \frac{D}{R}$$

Si el conductor tiene varias fuerzas electro-motrices, tendremos entonces

$$(2) I = \frac{D + \Sigma E}{R}$$

ΣE es la suma de las fuerzas electro motrices.

Si existen en el circuito dos clases de resistencias R_i y R_e , tendremos:

$$I = \frac{E}{R_i + R_e}$$

Si llamamos S la sección del conductor cilíndrico, l su longitud, á un coeficiente de resistencia específica, tendremos:

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad \rho = \frac{R S}{l}$$

El *volt* es la fuerza electro-motriz producida por una corriente de un ampère con una resistencia de un ohm. Se llama también la unidad de diferencia de potencial.

$$I = \frac{D}{R}; D = RI$$

I , intensidad; D , diferencia potencial; R , resistencia.

El *Coulomb* representa la cantidad de electricidad atravesando un conductor durante un segundo cuando la intensidad es de un ampère. Las expresiones *ampère* y *coulomb* por segundo tienen significado idéntico. El ampère-hora vale 3600 coulomb.

La cantidad de electricidad $Q = I t$; I , intensidad en ampères, t segundos.

El *Farad* es la capacidad que contiene un coulomb de electricidad con una fuerza electro-motriz de un volt.

El *potencial* de un conductor y la cantidad de electricidad contenida en él, son dos magnitudes diferentes, sin embargo dependiente una de otra.

Q, cantidad de electricidad del conductor, E su potencial, C un coeficiente, tendremos $Q = CE$ —; C, es la relación entre la carga eléctrica del conductor y el potencial.

El *watt* ó *volt-ampère* (producto de la diferencia de potencial por la intensidad de electricidad I,) es la potencia de una corriente de intensidad de un ampère, para una diferencia de potencial de un volt

$$\text{Watt} = \text{volt} \times \text{ampère.}$$

Cuando una corriente atraviesa un conductor la cantidad de calor desarrollada por la corriente en el conductor es proporcional: 1.º á la resistencia del conductor, 2.º al cuadrado de la intensidad, y 3.º á la duración del pasaje de la corriente.

Sea Q la cantidad de calor desarrollado durante el tiempo t, en un conductor de resistencia R, por una corriente I tendremos:

$$Q = RI^2 t$$

El calentamiento de una pila signa la ley de Joule.

Para corresponder á el ampère se ha tomado la unidad práctica

de trabajo $1 \frac{\text{km}}{9,80}$; á esta unidad corresponde $\frac{1}{9,80 \times 425}$ calorías
ó $\frac{1}{4160}$ calorías.

Esta unidad de calor ó de trabajo se llama *joule*, pues un joule

es igual $\frac{1}{9,8}$ kilogrametro ó $\frac{1}{4160}$ calorías

la fórmula joule aplicada á un conductor de resistencia R puede escribirse así;

$$Q = D I t; D = R I$$

Puede también expresarse de la manera siguiente:

$$Q, \text{ joules} = R^{\text{ohm}} \times (I \text{ ampères})^2 \times t \text{ segundo}; Q = RI^2t.$$

$$\text{ó } Q, \text{ joules} = D^{\text{volt}} \times I \text{ ampères} \times t \text{ segundos}; Q = DIt.$$

Como un kilográmetro igual 9,80 joules y una caloría 4160 joules, las fórmulas pueden también tomar las formas siguientes:

$$Q \text{ kilográmetros} = \frac{R^{\text{ohm}} \times (I \text{ ampères})^2 \times t \text{ segundo}}{9,80} \quad Q = \frac{RI^2t}{9,80}$$

$$Q \text{ calorías} = \frac{R^{\text{ohm}} \times (I \text{ ampères})^2 \times t \text{ segundo}}{4160} \quad Q = \frac{RI^2t}{4160}$$

Si llamamos A el equivalente mecánico del calor, tendremos también:

$$Q = \frac{RI^2t}{A} \quad (1)$$

Reemplazando R ó I por su valor sacado de $I = \frac{F}{R}$ (2), calcularemos en función de E en lugar de función de R.

$$Q = \frac{RI^2t}{A}$$

quitamos el denominador multiplicando por A.

$$QA = RI^2t; t^2 = \frac{QA}{Rt}; IR = E; \text{reemplazando } I \text{ por } \frac{E}{R}, \text{ tendremos}$$

$$Q = \frac{EI t R}{RR} = \frac{EIt}{A} = \frac{RI^2t}{A}$$

Si Q expresa la cantidad de calor producido en tiempo t , la cantidad de electricidad Q_a atravesando el conductor durante el tiempo t , es:

$$Q_a = It; I = \frac{Q_a}{t}$$

La ley de Joule puede, pues, escribirse así:

$$Q = \frac{I}{A} Q_a E \text{ ó } \frac{Q_a E}{A}$$

El trabajo equivalente al pasaje de una corriente, será:

$$T = EIt = \frac{E^2t}{R} = Q_a E$$

La energía eléctrica gastada en un segundo entre dos puntos de un circuito y transformada sea en energía química, sea en energía mecánica puede representarse en volt-ampères por el producto de la intensidad por la diferencia de potencial de los dos puntos enumerados. Pero si en lugar de considerar un segundo de tiempo, consideramos un tiempo t , la energía absorbida se expresa en volts-coulombs multiplicando el producto por t , tendremos entonces $E I t$ ó $D I t$,

Los volts-coulombs pueden traducirse en kilográmetros; la energía eléctrica $E \times Q$ es el producto de la fuerza electro-motriz por la cantidad de electricidad. Podremos calcular en kilográmetros un trabajo eléctrico cualquiera.

$$\frac{1 \text{ dina}}{1 \text{ gram}} = \frac{1 \text{ centi}}{980 \text{ cent}}$$

$$1 \text{ dina} = \frac{\text{fuerza de } 1 \text{ gra} \times 1}{890^e} = \frac{1}{980} \text{ gr}$$

$$1 \text{ erg} = 1 \text{ dina} \times 1 \text{ centímetro}, \quad 1 \text{ erg} = \frac{1 \text{ gr} \times 1 \text{ c}}{980} = \frac{0,001 \text{ k.}}{980} \times 0,01 \text{ m.}$$

$$1 \text{ erg} = \frac{1}{98000000} \text{ kilogrametros}$$

Esta relación permite de expresar en kilogrametros un trabajo eléctrico cualquiera calculado con los ampères, volts, etc.

Se sabe que el trabajo de una corriente en volts-coulombs es igual al producto de la fuerza electro-motriz E (volts) por la cantidad Q de electricidad (coulomb); el volt es igual á 100,000.000

unidades C, G, S y el coulomb á $\frac{1}{10}$; el producto es igual á

$\frac{100,000.000}{10}$ ó 10,000.000 de unidades C, G, S, de manera que

el volt-coulomb es igual á 10,000.000 de ergs.

Reemplazando el erg. por su valor en función del quilográmetro tendremos:

$$\text{volt—coulomb} = 10,000.000 \times \frac{1}{98.000,000} \text{ kilogrametros}$$

$$\text{volt—coulomb} = \frac{1}{9,80} \text{ kilogrametro.}$$

Pues para expresar en kilogrametros un trabajo de volts-coulombs se divide el número de volts-coulombs por 9,80 (gravedad).

El trabajo de la corriente eléctrica expresada en kilográmetros, se saca multiplicando la diferencia de potencial por la cantidad de electricidad y partiendo el producto por 9,80 como lo indica

$$\text{la fórmula } T = \frac{E I}{g}$$

Si se quiere calcular la cantidad de calor producido por una corriente, basta partir por 425 el número de kilográmetros que

$$\text{representa el trabajo; } C, \text{ calorías} = \frac{E I}{g \times 425} \text{ ó } \frac{R I^2}{g \times 425}; \text{ así una}$$

corriente de 20 ampères circulando una hora en un circuito de resistencia de 3 ohms produce 1008 calorías, como resulta de la relación.

$$\frac{3 \times 20^2}{9,80 \times 425} = 0,28 \text{ cal.}$$

y en una hora $0,28 \times 360 = 1008$ calorías.

El examen de estas relaciones nos dan á conocer que para un mismo número de watts suministrado á un conductor de resistencia dada, es más ventajoso, de aumentar los volts y de disminuir proporcionalmente los ampères, para disminuir el trabajo absorbido por el conductor. Supongamos una corriente de 100 ampères, 10,000 watts debiendo atravesar un conductor de una resistencia de 1 ohm, el trabajo absorbido por segundo y perdido

$$\text{será } \frac{10.000 \times 1}{9,80} = 1020 \text{ kilográmetros por segundo ó}$$

$$\frac{1020}{75} = 13,7 \text{ caballos-vapor.}$$

la misma potencia de 10000 watts con 400 volts y 25 ampères, daría una pérdida de menos de caballo-vapor.

La cantidad de calor q producida en una ~~corriente~~^{conductor} es proporcional á la resistencia del conductor R , al cuadrado I de la intensidad y al tiempo.

$q = \frac{RI^2t}{A}$; combinando esta ley de joule con la ley de ohm

$I = \frac{E}{R}$, se saca $q = \frac{EI^2t}{A}$, y con la ley de Faraday $Q = It$, tendremos

mos $q = \frac{QE}{A}$.

Resulta que el trabajo equivalente al pasaje de una corriente en un conductor es proporcional á la resistencia R del conductor, al cuadrado de la intensidad de la corriente y al tiempo, lo que se expresa así:

$$T = RI^2t = EIt = \frac{E^2t}{R} = QE$$

Hemos indicado más arriba la ley de Faraday, es decir, si una cantidad Q de electricidad (avaluada en coulomb) es transportada en un conductor en un tiempo t la intensidad de la corriente será expresada por la relación $\frac{Q}{t}$, tendremos:

$$I = \frac{Q}{t}$$

Donde $Q = It$

Los problemas que se relacionan con la electro-metalurgia, no pueden ser desconocidos por los futuros ingenieros que quieran estudiar este ramo de la técnica eléctrica. Todos los que ingresan en la electro-metalurgia, saben que la cantidad de acción química en una pila es teóricamente proporcional á la cantidad

de electricidad que produce dicha acción por unidad de tiempo y proporcional á la intensidad de la corriente. Si llamamos K , cantidad de acción química, cantidad de electricidad, I intensidad, tendremos $K = Q \times I$. Si una cantidad Q de electricidad (en coulomb) pasa en un conductor en el tiempo t , la intensidad de la corriente será $I = \frac{Q}{t}$, donde $Q = It$.

Faraday ha probado los hechos siguientes:

1.º La cantidad q de materia descompuesta en un tiempo t es proporcional á la intensidad I de la corriente.

2.º Cuando una corriente obra simultáneamente sobre una disolución, los pesos de los elementos separados en cada disolución estarán en la misma relación que sus equivalentes químicos. Supongamos tres disoluciones, plata, cobre, oro, y sean p , p' , p'' los pesos separados de dichos metales y k , k' , k'' sus respectivos equivalentes químicos:

$$\text{tendremos: } \frac{p}{k} = \frac{p'}{k'} = \frac{p''}{k''}$$

3.º La acción electrolítica es independiente de la posición relativa del generador y del electrólito.

4.º Habrá en la pila el mismo número de equivalentes de zinc entrado en disolución que de equivalentes de metales puestos en libertad en cada electrólito del circuito. La unidad electrolítica sirve para medir las intensidades de las corrientes constantes; se puede tomar para dicha unidad la expresión $\frac{Q}{t}$, es decir la relación de la cantidad Q de un electrólito descompuesto durante el tiempo t ; á veces se toma la expresión $\frac{\text{Daniell}}{US}$ = unidad electrolítica; US es la unidad Siemens; esta unidad $\frac{\text{Daniell}}{US}$

es la intensidad de una corriente producida por un elemento Daniell sobre una resistencia total de una unidad Siemens. Generalmente las *pilas marcos* (pilas etalons) que dan una fuerza electromotriz constante sirven en las medidas de comparación (Latimer-Clarke, Daniell, Post-office, Reynier, Ayrton y Perry, etc.) Las nociones de intensidad y de cantidad deben estar muy bien colocadas en el cerebro del estudiante en electro-metalurgia. Hemos dicho anteriormente que la unidad de cantidad es la cantidad de electricidad que pasa durante la unidad de tiempo en la sección de un conductor recorrido por una corriente de intensidad igual á la unidad. $Q = K I t$; Si $K = 1$; $I = 1$ y $t = 1$, entonces:

$$Q=1.$$

Si tomamos el segundo por unidad de tiempo t , el ampère, unidad de intensidad I , la unidad de cantidad Q será la unidad práctica de cantidad ó el coulomb.

Así un coulomb de electricidad pasa por segundo en una sección de un conductor recorrida por una corriente de 1 ampère.

La cantidad de electricidad será entonces expresada en coulomb por la fórmula $Q = It$ coulomb; $I =$ ampères; t segundos. Recordémonos que el ampère es la corriente que por unidad de fuerza electro-motriz puede atravesar en un segundo la unidad de resistencia; esta corriente pone en libertad 1,11888^{mmg.} de plata por segundo ó 4,05 en una hora ó bien 0,03775 de hidrógeno en una hora.

El coulomb es la cantidad de electricidad de una corriente de intensidad de 1 ampère atravesando un conductor en un segundo.

El equivalente electro-químico del hidrógeno correspondiente al coulomb es de 0,010384 miligramos, lo que permite decir que el coulomb es la cantidad de electricidad que pone en libertad en el voltámetro 0,10384 mg. de hidrógeno; de una manera general.

Sea H el equivalente electro-químico de un cuerpo, C el equivalente químico, tendremos para un coulomb las cantidades

$$H = 0,010384 \times C \text{ mmgr.}$$

y para el caso particular del cobre, por ejemplo $C = 31,50$

$$H = 0,010384 \times 31,5 = 0,327096 \text{ mmgr.}$$

estos datos permiten de calcular la cantidad de electricidad que pasa en un voltámetro y en un baño electrolítico.

Sean P el peso en miligramos del cuerpo depositado en el electrodo negativo, H el equivalente electro-químico de dicho cuerpo en relación al coulomb, Q cantidad de electricidad en coulomb, tendremos:

$$Q = \frac{P}{H};$$

el número de coulomb que se necesitan para depositar un gramo ó 1000 miligramos, será:

$$Q = \frac{1000}{0,010384 \times C};$$

en el caso especial del hidrógeno $C = 1$ y $Q = 96300$ coulomb. Si una corriente de intensidad constante I atraviesa un voltámetro en un tiempo t tendremos $Q = It$.

P es el peso del metal depositado, H su equivalente electro-químico, tendremos:

$$Q = \frac{P}{H}; Q = It \text{ ó } It = \frac{P}{H} \text{ y } I = \frac{P}{Ht}$$

Los generadores de electricidad empleados en la electro-metalurgia son las pilas, los acumuladores y los dinamos. Las pilas

termo-eléctricas, bien que gozando de una gran constancia son poco utilizadas, gastan mucho y rinden poco; la potencia de una pila termo-eléctrica, P_e , de resistencia R , produciendo una corriente I de fuerza electro-motriz E es:

$$P_e = EI.$$

Una porción solamente de esta cantidad es utilizada en el circuito exterior, la otra porción, perdida por el efecto útil, es absorbida por el efecto joule que tiene por expresion I^2R ; entonces la potencia útil P_u es:

$$P_u = EI - I^2R = EI \left(\frac{E - RI}{E} \right) = RI \left(\frac{E}{R} - I \right)$$

el rendimiento r tendrá por valor:

$$EI \left(1 - \frac{RI}{E} \right) : EI$$

donde $r = \frac{EI(1 - \frac{RI}{E})}{EI} = 1 - \frac{RI}{E} = \frac{E - RI}{E}$, D diferencia de potencial á

las bornes ó los límites de la pila. Llamamos I_m la corriente máxima suministrada por la pila correspondiendo una resistencia exterior nula, tendremos:

$$I_m = \frac{E}{R}$$

donde

$$(1) P_u = RI (I_m - I) = \text{potencia útil}$$

$$(2) r = \frac{I_m - I}{I_m} = \text{rendimiento}$$

cuando $I = I_m$ la potencia útil P_u es nula como el rendimiento; cuando I decrece, P_u aumenta hasta un máximo $I = \frac{I_m}{2}$; entonces P_u es la mitad de la potencia total y el rendimiento es entonces de 50%. Cuando $I = \frac{I_m}{2}$, la potencia útil desde luego decrece con la corriente y el rendimiento se va aproximando hacia la unidad.

La pila suministra el máximo de trabajo útil cuando la diferencia de potencial es la mitad de la fuerza electro-motriz, es decir cuando la corriente es la mitad de la corriente máxima; desde luego si se deseaba un rendimiento superior á 50% deberíamos hacer crecer la diferencia de potencial á las bornes ó límites de la pila ó bien disminuir la intensidad.

La demostración es la misma para las pilas hidro-eléctricas.

En las aplicaciones es necesario conocer el rendimiento de un acumulador. Sea D la diferencia de potencial á las bornes ó límites de la pila secundaria, á la carga; E la fuerza contra electro-motriz desarrollada por las reacciones químicas y R resistencia interior del elemento; tendremos:

$$DE = +I R$$

pero estas cantidades varían al tiempo de la carga; de manera que la energía total gastada en la carga durante el tiempo T será, I intensidad

$$\int_0^T D I dt$$

la pérdida de energía en calor por el efecto Joule, es:

$$\int_0^T I^2 R dt$$

la fracción almacenada es desde luego la diferencia

$$\Sigma_0 T E I dt$$

Si ahora llamamos E la fuerza electro-matriz de la descarga, D' la diferencia de potencial á las bornes ó límites, R', la resistencia interior, T' la duración de la descarga.

La energía total de vuelta será:

$$\Sigma_0 T' E' I' dt$$

la fracción perdida en calor por el efecto Joule es:

$$\Sigma_0 T' I' R^2 dt$$

la diferencia es la energía que se utiliza por los acumuladores

$$\Sigma_0 T' D' I' dt$$

El rendimiento es desde luego

$$r = \frac{\Sigma_0 T' D' I' dt}{\Sigma_0 T' D I dt}$$

las cantidades variables T, D, E, D' I' no están unidas por ninguna ley conocida.

Si D₁, D₂, D_n. Son las diferencias de potencial y I₁, I₂, I_n las intensidades indicadas por el amperómetro á intervalos cortos de tiempo, tendremos la relación siguiente para expresar la potencia media

$$\frac{D_1 I_1 + D_2 I_2 + \dots + D_n I_n}{n} = \Sigma \frac{DI}{n}$$

y la energía total será:

$$\frac{\Sigma DI}{n} \times nt = t \Sigma DI$$

las máquinas dinamos para la electro-metalurgia, la galvanoplastia tienen poca resistencia interior, mucha intensidad y un

uerza electro-motriz débil, en ellas deben considerarse el rendimiento eléctrico y el rendimiento industrial. El rendimiento

$$\text{eléctrico} = \frac{\text{Potencia eléctrica útil } P_u}{\text{Potencia eléctrica total } P_t} = \frac{P_u}{P_t}$$

Tendremos para cada género de excitación la expresión de las potencias eléctricas útil y total en función de las medidas eléctricas,

$$\text{Dinamos en serie, rendimiento eléctrico} = \frac{P_u}{P_t} = \frac{DI}{DI + I^2 r_g + I^2 r_a} = \frac{DI}{EI} = \frac{D}{E}$$

en efecto $P_u = DI$, $D =$ diferencia potencial;

$P_t = DI + I^2 r_g + I^2 r_a$ ó $P_t = EI$; si se reemplaza D por IR é E por $\Delta + I_{2a}$

valores en función de intensidades y de las resistencias de las diferentes partes del circuito, tendremos finalmente

$$\text{Rendimiento eléctrico} = \frac{R}{r_a + r_g + R}$$

Resulta que el rendimiento eléctrico de un dinamo en serie es mayor cuando la suma de las resistencias del induito r_a y de los inductores r_g es una fracción menor de la resistencia exterior.

Para un dinamo en derivación, el rendimiento eléctrico es

$$\frac{P_u}{P_t} = \frac{DI_e}{DI_e + DI_a + (I_e + I_d)^2 r_a}$$

Para un dinamo compound, el rendimiento eléctrico es

$$\frac{P_u}{P_t} = \frac{DI_e}{DI_e + I^2 r_g + \Delta I_d + I_e + I_d)^2 r_a}$$

Pero E fuerza electro-motriz de un dinamo no se mide directamente; $E = E_d + IR$; la potencia eléctrica total P_t es en kilogrametros

$$P_t = \frac{(E_d + IR)I}{9.8} \text{ kilogrametros}$$

$$\text{rendimiento eléctrico} = \frac{E_d I}{(E_d + IR)I} \text{ ó bien } \frac{E_d}{E_d + IR}.$$

Para el rendimiento industrial, se mide la potencia transmitida á los dinamos; sea P_m su valor, D la diferencia de potencial, y I la intensidad exterior: $DI = P_u$ potencia útil; $\frac{P_u}{P_m}$ es el rendimiento industrial.

La polarización debe también llamar la atención del estudiante electro-metalurgista. Sir W. Thomson ha dado una relación permitiendo calcular la fuerza electro-motriz de polarización cuando es conocida la energía de combinación del electrólito. Si no se produce ninguna acción secundaria la potencia eléctrica absorbida representada por el producto de la fuerza electro-motriz de polarización, por la intensidad de la corriente, es decir, por EI , es igual al calor de combinación, expresado en unidades absolutas del peso del cuerpo descompuesto por segundo de tiempo.

Sean H el equivalente electro-químico del electrólito, C el calor de combinación de su unidad de peso, tendremos: $EI = H CI$, donde $E = HC$.

Para que una pila pueda hacer un cierto trabajo, la suma de las calorías representadas por dicho trabajo no puede ser superior á la que la pila es capaz de suministrar. En las operaciones de galvanoplastia, de electro-metalurgia es muy importante el generador de electricidad según al trabajo que se le pide.

Además de la razón de economía, sabemos que cada disolución

metálica para descomponerse exige una fuerza electromotriz mínima. Si esta fuerza no se produce, tampoco se produce ningún trabajo; si por el contrario se produce demasiado, los baños se deterioran ó se pierden. Bien que los resultados de la práctica y la experiencia deben siempre servir de regla, sin embargo, indicaciones de la teoría algunas veces ahorran tiempo y facilitan las instalaciones indicando entre cuales límites debemos colocarnos. La fuerza electro-motriz E de una pila se calcula por la fórmula $E = 0,043 \times c$, $c =$ número de calorías, E fuerza electro-motriz en volts. Por ejemplo, la fuerza electro-motriz que un baño de sulfato de cobre necesita para descomponerse, sería

$$E = 0,043 \times 29,6 = 1,17 \text{ volts,}$$

el número de calorías producidas por la formación de un equivalente de sulfato es 29,6 calorías.

En el caso del agua tendremos:

$$E = 0,043 \times 34,45 = 1,48 \text{ volts.}$$

El gasto del trabajo de descomposición en los baños electro-líticos es fácil calcularlo,

la fórmula $P = 27,5 \times \frac{hn}{E}$ permite calcular el peso P de cada uno de los reactivos empleados en una pila, para producir un caballo-hora; h equivalente químico del reactivo, $n =$ número de equivalentes, E fuerza electro-motriz en volts.

Supongamos que deseamos conocer el trabajo que se necesita para separar el cobre de una disolución de sulfato

$$h = 31,5, \quad n = 1, \quad E = 1,27 \text{ volt}$$

$$P = 27,5 \times \frac{31,5 \times 1}{1,27} = 688 \text{ gramos}$$

así un caballo-hora puede depositar 680 gramos de cobre; para un kilogramo necesitará 1,5 caballo-hora.

Podremos igualmente emplear la fórmula $T = \frac{EI}{g}$; si deseamos el trabajo necesario para librar 1 k. de cobre.

$T = \frac{EI}{g}$; $E = 1,27$ volts; para librar 1 gr. de cobre se necesita 3058,6 coulomb; el trabajo T será entonces de

$$T = \frac{1,27 \times 3058,6 \times 1000}{9,80} = 396,365 \text{ kilográmetros}$$

sea 1,5 caballo-hora.

También podremos calcular el precio de costo de las pilas ó del caballo-hora.

Por el conjunto de las varias cuestiones que veníamos considerando, hemos hecho la prueba que los estudiantes que querían ingresar á los estudios de electro-metalurgia deben antes poseer los conocimientos suficientes en electricidad teórica y técnica.

IV

PRODUCTOS REFRACTARIOS—HORNO

Los productos refractarios han sido estudiados en mi curso de tecnología y los hornos en física industrial.

Para no alargar más el tema que vengo tratando, no voy más adelante y me detengo sobre el empleo del calor y de la electricidad en materia de metalurgia. Sin embargo, antes de concluir, daré el programa de mi curso en la Universidad á fin de que se sepa lo que se estudia en él; el desarrollo de dicho programa es en vista de las aplicaciones de ingeniería industriales y de instalaciones de máquinas y de fábricas.

I TERMO-TÉCNICA Ó TÉCNICA DEL CALOR

- 1.º Naturaleza del calor, equivalente mecánico del calor, nociones de termo-dinámica, manantiales del calor.

- 2.º Termometría industrial: medidas industriales del calor.
- 3.º Producción del calor, combustibles.
- 4.º Calorimetría industrial, medidas de las cantidades de calor
- 5.º Poder calorífico, temperatura de combustión, aparatos de combustión.
- 6.º Trasmisión del calor.
- 7.º Derrame de los gases, flujo de los gases y de los vapores
- 8.º Hornos, hogares, gasógenos.
- 9.º Receptores de calor.
- 10.º Chimeneas y aparatos de tiraje.
- 11.º Calderos á vapor.
- 12.º Calefacción ó calentamiento.
- 13.º Diversos sistemas de calefacción.
- 14.º Ventilación.
- 15.º Aire comprimido.
- 16.º Producción del frío, su empleo industrial.

II ELECTRO-TÉCNICA Ó TÉCNICA DE LA ELECTRICIDAD

- 1.º Principios generales, unidades, leyes, medidas eléctricas
- 2.º Producción de la electricidad, generadores eléctricos.
- 3.º Pilas.
- 4.º Acumuladores.
- 5.º Máquinas magneto-eléctricas y dinamos.
- 6.º Transformadores.
- 7.º Canalización.
- 8.º Transformación de la fuerza.
- 9.º Electrolisis, galvanoplastia, electro-metalurgia etc
- 10.º Luz eléctrica, alumbrado eléctrico.
- 11.º Motores eléctricos.
- 12.º Tracción eléctrica.
- 13.º Telegrafía, telefonía.

- 14.º Varias aplicaciones de la electricidad á la marina, al arte militar, á la minería, al teatro, á la industria, etc.
15.º Instalaciones eléctricas.

III TECNOLOGÍA GENERAL

A Industrias elaborando las materias primas extraídas del suelo.

1.º *Tierras y arcillas*: cerámica, porcelanas, lozas, alfarería, tejas, ladrillos, etc. 2.º cal, cementos, yesos, 3.º Vidrio, cristalería 4.º Alumbrado, fabricación del gas y otras materias 5.º Petróleos, naftas, betunes, 6.º Aguas gaseosas, su fabricación industrial.

B Industrias elaborando las materias vegetales y animales.

7.º Cuerpos grasos, estearina, bujías, 8.º jabones, aceites, 9.º Jelatina, cola, carbón animal, fosfatos, 10.º Conservación de las sustancias animales y vegetales 11.º Celulosa, materias textiles, papeles, materias explosivas 12.º Azúcar, industria del azúcar, sacarimetría jaccarina.

C Industria que trabajan en segunda elaboración los productos que provienen de industrias extractivas.

13.º Productos derivado de la hulla y del alquitrán, 14.º Industria de las materias tintoreales, aplicaciones, 15.º Colores comerciales, 16.º Blanqueo de los tegidos, 17.º Impresión de los tegidos 18.º Siderurgia: industria del hierro, especies comerciales de hierro y de acero, 19.º Especies comerciales de otros metales.

El curso de tecnología es hecho en vista de la instalación de las fábricas é industrias, y no en vista de estudiar los productos fabricados, lo que corresponde á la química y al curso de materiales de construcción.

ALFONSO NOGUÉS.