

INTRODUCCION A LA METALURGIA GENERAL

TEMPERATURA DE COMBUSTIÓN

(Continuación.)

El metalurgista en varias ocasiones necesita calcular la temperatura de los hornos de fundición y de los focos. Cuando estos son colocados en un recinto de mampostería espesa, se puede admitir aproximativamente que no se pierde calor por los paramentos y también se puede entonces admitir que el calor producido por la combustión es empleado en elevar la temperatura de los gases que se desprenden del foco. Para calcular esta temperatura, basta determinar, de una parte la cantidad de calor M suministrado por la combustión y de otra, la naturaleza y el peso de los gases producidos. Llamemos P , el peso del combustible quemado, C , su calor específico, θ , la temperatura inicial, P' , el peso del comburente (oxígeno ó aire), C' su calor específico, θ' , su temperatura de llegada al foco, N , potencia calorífica del combustible, m , la fracción del combustible quemado, tendremos entonces:

$$M = m P N \times P c \theta + P' c' \theta', \text{ calor total del foco,}$$

contándolo desde cero

Ahora llamemos p, p', p'' los pesos de los varios productos de la combustión, c, c', c'' sus calores específicos respectivos, y T ,

su temperatura común, después la combustión, el calor absorbido, contándolo desde cero es:

$$(pc + p'c' + p''c'') T = T \Sigma p c.$$

$$P c \theta + P' c' \theta' + m P N = T \Sigma p c.$$

donde
$$T = \frac{P c \theta + P' c' \theta' + m P N}{\Sigma P c}$$

la temperatura de la combustión será mayor cuanto mayores sean las temperaturas iniciales $\theta \theta'$, y que el peso Σp de los gases sea mayor.

Resulta de esto que por haber altas temperaturas se deben calentar el combustible y el comburente antes de su combinación. En la práctica estos cálculos pueden simplificarse, considerando, salvo para el hidrógeno, que el calor específico de los gases de la combustión es en término medio, 0,24.

Ahora si llamamos A el peso del comburente que quema 1k de combustible, el peso total de dicho comburente es:

$$P' = P A$$

y como
$$\Sigma p c = 0,24 P (A + 1),$$

sabemos que
$$T = \frac{m P N + P c \theta + P' c' \theta'}{\Sigma p c}$$

sustituyendo á $\Sigma p c$ la cantidad igual $0,24 P (A + 1)$, tendremos:

$$T = \frac{m P N + P c \theta + P' c' \theta'}{0,24 P (A + 1)}.$$

Simplificando, $P' = A P$.

$$T = \frac{m N + c \theta + A c' \theta'}{0,24 (A + 1)}.$$

$$\text{Si } \theta = \theta' \text{ tendremos } T = \theta + \frac{m N}{0,24 (A + 1)}.$$

Si $m = 1$, $\theta = \theta' = \theta' = \overset{\text{cero}}{\cancel{\theta'}}$, entonces:

$$T = \frac{N}{\Sigma p c}$$

De manera que basta dividir la potencia calorífica del combustible por la suma del producto de los factores $P \Sigma c$, es decir por $p c + p' c' + p'' c''$ para tener la temperatura de combustión. El metalurgista necesita con frecuencia determinar altas temperaturas, los procedimientos se enseñan en física industrial, sería demasiado extenso este bosquejo si nos detenemos en la termometría técnica. Sin embargo debemos indicar la determinación de la temperatura de la llama de un combustible sólido. Según el sabio Pécler, una masa carbonosa irradia la mitad del calor de combustión, se sabe que el poder radiante del carbono es el más alto, las potencias radiantes de los gases es más ó menos nula. De estos hechos resulta que $\frac{1}{2}$ del calor proviene de la porción del combustible donde ella irradia y la otra mitad viene de la parte volátil del mismo combustible.

Considerando los hechos así, tendremos una medida aproximativa de la temperatura de la llama, dividiendo la mitad de la potencia $\frac{N}{2}$ del combustible por la masa, reducida su agua P de los productos de la combustión; de $1k$ de dicho combustible,

$$\frac{N}{2} : P = \frac{N}{2 P}.$$

Supongamos n carbón mineral compuesto, sobre un quilógramo de carbono = $0^k = 824$, hidrógeno $0,041$, oxígeno $0,066$, cenizas, $0,07$.

Su potencia calorífica es $P = 8080 \times 0,824 + 29000H - (4230 \times \theta - 1537 HO) = 7160$. La cantidad teórica del aire para la combustión es $9,855$, pero la cantidad práctica es de $19^k,20$; 20^k representa la masa de los productos de la combustión y 5^k su masa reducida en agua; tendremos para la temperatura aproximativa de la llama $\frac{7580}{2}$; 5 ó $\frac{3790}{5} = 758$ grados.

Los hidro-carburos no oxigenados pueden dar para su combustión temperaturas más altas que los combustibles sólidos, sea quemándoles en el estado líquido, sea transformándoles en bicarburos de hidrógenos. Para dar una idea de dichas temperaturas, tomaremos 1^k de bicarburo de hidrógeno $C^4 H^4$ menos ricos en carbón que los carburos líquidos.

1^k de $C^4 H^4$ contiene, carbono $0,857$, hidrógeno $0,143$.

El carbono para transformarse en ácido carbónico exige:

$$0,857 \times \frac{16}{6} \text{ de oxígeno ó } 2^k,580.$$

el hidrógeno exige..... $1,144$ de oxígeno.

Peso total del oxígeno..... $3^k,724$

el peso del oxígeno representa un volumen de aire igual á

$$\frac{3^k,724 \times 100}{1,43 \times 21} = 11,^m3 40, \text{ volumen teórico del aire.}$$

El volumen práctico:

$$11^m3 40 \times 1,2 = 13,^m3 700 \text{ ó } 11,40 \times 2,28 = 13,69.$$

Si se admite para el calor específico de los productos de la combustión (ácido carbónico, azoe, vapor de agua), el número $0,^{\text{cal}}265$ tendremos la temperatura de dichos gases.

$$T = \frac{11000}{1,^k000 + (13,^m3 700 \times 1,30)} = 2200 \text{ grados}$$

Dicha temperatura no puede alcanzar, por que la disociación del ácido carbónico se produce cerca de 2,350 grados y la del vapor de agua cerca de 2,700 grados.

Los problemas de la trasmisión del calor tienen una importancia considerable en la metalurgia, porque finalmente las aplicaciones del calor se reúnen y se resuelven en cuestiones de trasmisión de calor y de movimientos de fluidos. Por consecuencia los dos problemas están unidos uno a otro. En efecto, en los aparatos de calentamientos y de ventilación se deben poner los gases en movimiento, aspirar y soplar aire para alimentar los focos, evacuar los gases de la combustión, conducir el vapor á los aparatos de utilización, etc., las fórmulas conocidas dan la velocidad, el volumen y el peso de un gas ó de un vapor: Gases.

$$\text{Para la velocidad } V=396^{mk} \sqrt{\frac{F}{E+B} \frac{1+at}{d}} \quad (1),$$

$$\text{Para el volumen } Q=Sv \quad (2),$$

$$\text{Para el peso } P=49,5 \text{ mks } \sqrt{\frac{E(F+B)d}{1+at}} \quad (3) \text{ ó } P=320 \text{ ksn} \quad (4),$$

Para el vapor de agua:

$$\text{Velocidad } V=501,73 \text{ mk } \sqrt{\left(\frac{n-n_0}{n}\right) \frac{1+at}{d}} \quad (5)$$

$$\text{Peso } P=403,3 \text{ mkS } \sqrt{\frac{n(n-n_0)d}{1+at}} \quad (6) \text{ ó } P=200. \text{ KSn} \quad (7)$$

V = velocidad en metros por segundos, E = exceso de presión, B = presión del medio ambiente donde se hace el derrame, en metros, n = presión del gas ó vapor comprimido en atmósfera; k = coeficiente de contracción, m = coeficiente de reducción; t = temperatura, d = densidad á 0° y á 760^{mm}, a = coeficiente de dilatación, n_0 = presión del medio ambiente donde se hace el derrame en atmósferas.

Q = volumen salido en un segundo, S = sección del orificio de salida; P = peso por segundo en kilogramos.

En los aparatos de calefacción con foco, el aire está obligado á atravesar una parrilla cargada de combustible que opone una resistencia á su pasaje, resistencia que se traduce en una pérdida de carga. Esta es proporcional al espesor de la capa del combustible. Si representamos la pérdida de carga C_p por la fórmula $C_p = u l d \frac{v^2}{2g}$ el coeficiente u depende de la velocidad y puede ser expresada por la relación $u = \frac{(a+b)}{v}$, v velocidad debajo de la parrilla, los valores de a y b son sacados de la experiencia. Uno de los elementos más importante en el empleo del calor de un foco, es la actividad de la combustión medida por el peso del combustible quemado sobre la parrilla en una hora por metro cuadrado.

Este peso de combustible, que el ingeniero debe siempre gobernar á su antojo, está en relación con la naturaleza del combustible y la velocidad de la llegada del aire en el foco, es decir con la energía del tiraje. La superficie de la parrilla debe estar directamente en relación con la cantidad de combustible que se debe quemar. De manera que el metalurgista antes de construir su horno necesita enterarse de la cantidad de minerales que hay que fundir y de *las cantidades de calor que se necesitan*; estos datos obtenidos, calcula las cantidades de combustible y las dimensiones del horno, de la parrilla, de la chimenea, etc.

Llamemos p el peso de combustible en quilogramos quemado por metro cuadrado de parrilla por hora, N su potencia calorífica; S la superficie de la parrilla; r , el rendimiento ó la fracción del calor total utilizado. Necesitamos una cantidad de calor Q , tendremos la relación:

$$Q = r p S N (r)$$

que permite calcular la superficie de la parrilla S .

El foco es generalmente envuelto de paredes, una de ellas protege contra el desprendimiento de calor, otras absorben por el contrario este mismo calor y constituyen la superficie del calentamiento directo. Tendremos entonces en un horno una cantidad de calor disperso D y una cantidad absorbida I ; el sobrante del calor desarrollado por la combustión calienta los gases.

El calor suministrado por el horno en una hora será

$$(1) \quad n Q + n c t + n m A c' t'$$

t = temperatura inicial del combustible, t' = temperatura del aire de alimentación, c = calor específico del combustible, c' = calor específico del aire, C = calor específico de los productos de la combustión, n = peso del combustible quemado en una hora, Q = potencia calorífica del combustible, O^o = temperatura externa,

(2) $I = I_0 S$ = superficie radiante T = temperatura del horno. y I_0 es función de T y de la temperatura de la pared que recibe la irradiación.

La expresión (1) debe igualar las sumas del calor disperso D , de calor I , de los gases de la combustión, $(m A + 1) c T$, tendremos

$$n Q + n c t + n m A c' t' = D + I_0 S + n (m A + 1) C T.$$

Si sobre la parrilla se quema n_0 kilogramos en una hora por metro cuadrado tendremos $n = n_0 S$

Resolviendo la ecuación con respecto á T , sacaremos la temperatura del horno (3)

$$T = \frac{Q \times c t + m A c' t' - \frac{D - I_0}{n}}{(m A + 1) C}$$

Esta fórmula nos hace ver la importancia de reducir al mínimo el aire de alimentación $m A$ y de calentar el aire y el

combustible antes de introducirlo en el horno. Cuando la irradiación no es utilizada directamente, se tiene

$$(4) T = \frac{Q + ct + m A c' t' \frac{D}{n}}{(m A + 1) C}$$

Para llenar el aire que debe mantener la combustión en el foco, se necesita un aparato de tiraje ó chimenea dando salida á los gases de la combustión y entrada al comburente. El estudiante que ingrese en el curso de metalurgia debe tener presente las condiciones de tiraje de las chimeneas, el calor que se necesita para determinarlo, el trabajo de una chimenea, las dimensiones, las resistencias, la combustión, etc., y todos los datos analíticos que se enseñan en el curso de física industrial.

Para calcular la velocidad de los gases de la chimenea emplearemos la fórmula general conocida

$$V = \sqrt{2gh},$$

h = altura de una columna de fluido que va produciendo exceso de presión en el caso actual, el gas es á la temperatura t , produciendo sobre la sección S una presión $F-S$; densidad del gas

$\frac{d_0}{1+at}$; la expresión $hS \frac{d_0}{1+at} = ES$ permite calcular h ($\frac{d_0}{1+at}$)

$$(1) h = \frac{Ha(t-\theta)}{1+a\theta}$$

y
$$V = \sqrt{2gH \frac{a(t-\theta)}{1+a\theta}}$$
 es la velocidad teórica.

La velocidad real ~~es~~ es

$$(2) v = \frac{\sqrt{2gHa(t-\theta)}}{(1+a\theta)(1+R)} \dots \dots R = \text{coeficiente de resistencia.}$$

La velocidad es proporcional á la raíz cuadrada de la altura de la chimenea y del exceso de temperatura.

el volumen que pasa por segundo es:

$$Q = S \frac{\sqrt{2 g H (1-\theta)}}{1+a \theta (1+R)} \quad S = \text{sección de la chimenea,}$$

$$\text{y el peso del gas } P = 1000 S \frac{d_0}{1+a t} \frac{\sqrt{2 g H (t-\theta)}}{(1+a \theta) (1+R)}$$

este peso varía como la raíz cuadrada de la función $\frac{t-\theta}{(1+a t)^2}$,

detengámonos un momento en esta función que da el máximo de tiraje, esta función $\frac{t-\theta}{(1+a t)^2}$ tiene un máximo para una temperatura que se calcula igualando la derivada a 0, tenemos entonces:

$$\frac{2 a (t-\theta) (1+a t) - (1+a t)^2}{(1+a t)^4} = 0$$

y como $1+a t$ no puede ser ni nulo ni infinito:

$$2 a (t-\theta) = 1+a t \text{ y } t = \frac{1}{a} + 2\theta$$

temperatura que da el máximo de peso del gas que ha pasado, es decir el máximo de tiraje. La transmisión del calor de aire y el aire entre dos recintos, transmisión del vapor, al aire atravesando paredes metálicas, del vapor de agua, transmisión del calor, de los gases de la combustión, el agua de los caderos, etc, todas estas cuestiones son de sumo interés para los que quieran empezar el estudio de la metalurgia.

EMPLEO DEL GAS EN LA METALURGIA.—GASÓGENOS.

El empleo del gas para calentar, no es únicamente para aprovechar mejor el combustible; sino que también facilita ciertas

disposiciones imposibilitadas con los combustibles sólidos. El calentamiento con el gas tiene ciertas ventajas y son:

- 1.º Permite en las operaciones que exigen una alta temperatura, el uso de combustible de inferior calidad (leña, turba, lignita etc);
- 2.º Permite emplear, con un efecto útil de 75 á 80% los gases de los altos hornos;
- 3.º Mantener una alta temperatura en un espacioso recinto, y mantener la uniformidad;
- 4.º Disminuir la duración de las operaciones de fundición;
- 5.º Disminuye la superficie de desperdicio en los hornos, aumentando la capacidad;
- 6.º Obtener, lavando los gases, llamas sin cenizas y sin polvos.

Los gases combustibles empleados en la industria son:

- 1.º El óxido de carbono de los hornos de los gasógenos;
- 2.º El hidrógeno mezclado con el óxido de carbono cuando se descompone el vapor de agua por el carbón incandescente;
- 3.º Los hidro-carbuos que resultan de la descomposición de las materias orgánicas.

El metalurgista, cuando lo necesita determina la cantidad de gas que un combustible dado puede producir al gasógeno; para hacerlo debe conocer la cantidad de coke y de gas producido por destilación.

Examinemos el gas dado al gasógeno por varios combustibles minerales y vegetales:

- 1.º Antracitas. En el gasógeno, el carbón fijo del coke pasa al estado de óxido de carbono y se agrega á los gases de la destilación que en el caso de una antracita son pocos, compuestos de óxido de carbono y de hidrógeno. En la práctica se puede admitir que 1^k de antracita da en el gasógeno sólo óxido de carbono formado por la combustión incompleta de su carbono. Por término medio 1^k de antracita contiene 3% de ceniza y 3 á 4%

de azoe y oxígeno. Este kilogramo producirá tanto gas que $1,000^k - 0,^k060 = 0,^k940$ de carbono pasando al estado de óxido de carbono.

Se necesita $4,^{m^3}410$ de aire á 0° y á 760^{mm} . para transformar 1^K de carbono en óxido de carbono, de donde resulta que:

1.º $4,^{m^3}410$ de aire contiene un volumen de azoe igual á $3,^{m^3}548$

2.º 1^k de carbono se combina con $1^k,333$ de oxígeno de aire para formar $2^k,333$ de óxido de carbono, ocupando á 0° y á 760^{mm}

un volumen igual á $\frac{2^k,333}{^k1,243}$ ($1,^k243$)

peso del metro cúbico del óxido de carbono..... $1,^{m^3}877$

el volumen total del gas del horno es..... $5,^{m^3}425$.

Este gas que pesa $2,^k333$ puede suministrar una cantidad de calor igual á $2,^k333 \times 2400$ calorías = 5600 calorías; 2400 = potencia calorífica de óxido de carbono, la cantidad de calor sumi-

nistrado por 1^{m^3} dicho gas, es por lo tanto $\frac{5600 \text{ calorías}}{5,^{m^3}425} = 1037$ ca-

lorías; la composición en volumen de 1^{m^3} de este gas contiene azoe y varios incombustibles, $0,^{m^3}613$, es óxido de carbono, hidrógeno y varios $0,347$;

2.º *Coke*. En algunos casos el gas de cok es empleado en los gasógenos de los aparatos con calor recuperado, consideremos un coke de gas teniendo de carbono $78,70\%$, materias volátiles $4,30\%$, agua $3,60$, cenizas $13,40$. 1^k dará al gasógeno, gas combustible á 0° y á 760^{mm} .

$$5,^{m^3}400 \times 0,787 = 4,^{m^3}260$$

El peso del metro cúbico del gas á 0° y á $760^{mm} = 1,^k25c$.

El poder calorífico del metro cúbico del gas á 0° y á 760^{mm} es de 1000 calorías, la potencia calorífica del coke es de 6400 ca-

lorías. La pérdida debida á la transformación del combustible sólido en combustible gaseoso es:

$$6400 - 1000 \times 4,260 = 2140 \text{ calorías}$$

y la pérdida relativa es $\frac{2140}{6400} = 0,334$ ó 33% ;

3.º *Gas de hulla al gasógeno, gas de agua.* La transformación de la hulla en gases combustibles no es tan fácil como parece á causa de la introducción del aire al gasógeno, llevando con él azoe, vapor de agua, produciendo ácido carbónico, oxidación de los hidro-carburos, etc.—Para facilitar la producción del hidrógeno y del óxido de carbono, es decir para formar *gas de agua* en el gasógeno, se enfrían las parrillas del aparato.—Calculemos la proporción del gas teórico, para obtener el mayor rendimiento.

Dos datos importantes se necesitan: 1.º la cantidad de calor que exige la descomposición del agua, 2.º el calor que se puede quitar al gas, sin enfriar demasiado el aparato.

1.º Para descomponer 1^k de vapor de agua se debe gastar $\frac{29000}{9} = 3222$ calorías. Los $\frac{8}{9}$ del peso del vapor, compuesto de oxígeno y se combina con $\frac{6}{9}$ de kilogramos de carbono para formar un peso de $\frac{8}{9} + \frac{6}{9} = \frac{14}{9}$ de kilogramo de óxido de carbono; esta combinación desarrolla una cantidad de calor igual á $\frac{6}{9} \times 2400^{\circ} = 1600$ calorías.

Por consiguiente, la descomposición de 1,000 de vapor de agua absorbe

$$3222^{\text{calorías}} - 1600^{\text{cal}} = 1622 \text{ calorías.}$$

La parrilla irradiando da el calor necesario á la vaporización del agua.

2.º Supongamos ahora rebajar de 1200 y á 800 grados la temperatura del gas del gasógeno, el gas saldría á 1200º si no había descomposición del vapor de agua. M. Bencauchez á suministrado los datos numéricos sobre la cuestión del gasógeno de que tratamos.

Sea X el peso de vapor de agua descompuesta por kilogramos de carbono transformado en gas, la cantidad de calor absorbido por la descomposición, es de $1622 \times x$.

También debemos llevar de 100º á 800 grados el hidrógeno formado, lo que absorberá una cantidad de calor igual á

$$\frac{1}{9} \times 3.41 \times (800 - 100) \times x \text{ ó } \frac{3.41}{9} \times 700 \times x.$$

Además no habrá lugar á calentar á 800º el azoe que había acompañado el oxígeno del agua descompuesta, si el carbono se había oxidado á expensa del aire; tendremos entonces una economía de calor igual á,

$$\frac{(3,^{m^3}528 \times 1,^k256)^{\frac{8x}{9}}}{1,^k333} \times 0,244 \times 800$$

la cantidad de calor absorbido por estas diferentes causas tendrá por efecto bajar á 800º la temperatura del gas que había salido á 1200 grados, sin la descomposición del agua. La pérdida de calor experimentado por los gases tiene por valor:

$$\frac{\text{óxido de carbono}}{2,^k333 \times 0,245 \times 400^\circ} + \frac{\text{azoe}}{(13,^{m^3}528 \times 1,^k256) \times 0,244 \times 400^\circ}$$

como la misma cantidad de calor se ha desarrollado en las dos

maneras de fundicionar el gasógeno, debemos tener la relación:

$$\left[1622 + \frac{1}{9} \times 3,41 \times 700 - \frac{8 \times 3,528 \times 1,256 \times 0,224 \times 800}{9 \times 1,333} \right]$$

$$X = (2,333 \times 0,245 + 3,528 \times 1,256 \times 0,244) (400 + 244) 400.$$

de donde se saca el valor de x, es decir el peso de vapor de agua que se puede descomponer por kilogramo de carbón puro gasogenado,

$$1310 x = 661; x = 0,504$$

No se pudo, sin comprometer la marcha del aparato, descomponer un peso de agua superior á la mitad del peso del carbono transformado en gas; se pudo contar sobre una descomposición de 400 gramos por kilogramo, de combustible teórico,

Si la hulla quemada tiene 80% de carbono fijo, no se podría gasificar por kilogramo de combustible que

$$0,400 \times 0,80 = 0,320 \text{ de agua}$$

el volumen de hidrógeno suministrado al gas será entonces:

$$\frac{0,320}{9 \times 0,0896} = 396 \text{ litros}$$

El gas hidrógeno producido por 1^k de carbono pudo producir quemándose

$$2,333 \times 2400 \text{ cal} + \frac{0,32}{9} 29000 = 6630 \text{ calorías. Sea el me-}$$

tro cúbico una potencia calorífica de $\frac{6630}{5,3049} = 1320 \text{ calorías}$

(5,3049 = óxido de carbono = 1^{m³}177 + hidrógeno 0,396 + azoe 2,3776 por 1^k de carbono puro).

4.º *Gas de los altos hornos.* Un alto horno puede considerarse como un gasógeno, produciendo gases combustibles; en la

práctica se admite que 1^k de coke metalúrgico da 5^{m³} de gas teniendo una potencia calorífica, el metro cúbico de 900 calorías.

Admitiendo 7000 calorías para la potencia calorífica del cok metalúrgico la pérdida de calor debido á la transformación del coke en gas de alto horno será,

$$7000 \text{ cal} - (900 \text{ cal} \times 5^{\text{m}^3}) = 2500 \text{ calorías.}$$

la pérdida experimentada en el alto horno como gasógeno .

es de $\frac{2500 \times 100}{7000} = 36\%$ esto prueba que el alto horno es el mejor de los gasógenos porque no pierde sino 5 á 6% que los demás generadores de gas de coke y que la pérdida de 36% está utilizada en la producción del hierro colado.

Las lignitas, las turbas, la leña, dan gases combustibles al gasógeno; lo que acabamos de decir basta para demostrar la importancia que tienen estos asuntos para la metalurgia, lo expuesto anteriormente basta para probar la utilidad de aprovechar el calor y perder el menos posible en las operaciones industriales.

RECUPERACIÓN.

Como el combustible, lo repetimos, es uno de los factores de mayor costo de fabricación. Su economía es el problema que debe seguir constantemente al ingeniero; perder lo menos posible, en trasmisiones, irradiaciones, conversiones, etc., y economizar lo más posible, es decir, hacer todo lo conveniente para que el combustible dé su máximo de efecto útil, en fin recuperar la porción que se pierde sin utilidad, esto es también una cuestión que debe cuidar el metalurgista y los estudiantes no deben olvidar el estudio de los problemas que tienen relación con esta importante cuestión. En los aparatos industriales hay siempre desperdicio de calor, el enfriamiento de los recintos por irradia-

ción y trasmisión atravesando los paramentos, las mamposterías, etc., y además la desociación se oponen á la producción de altas temperaturas.

La trasmisión del calor por conductibilidad, irradiación, convección, mezcla, etc., se estudia detenidamente en el curso de física industrial, no me detendré en ella. Sólo voy á indicar un caso concreto, el cálculo de la pérdida del calor en un horno donde se quema 1.^k de huella pura con 13.^{m³} de aire, potencia calorífica del combustible 7500; la temperatura teórica debe ser:

$$T = \frac{7500}{(13^{\text{m}^3} \times 1000 \times 1,23 \times 1)0,2377} = 1760 \text{ grados}$$

Si se mide experimentalmente la temperatura en el laboratorio del horno con un termo-calorímetro,

(Continuará)

