

# LA ECONOMIA TERMICA EN SIDERURGIA

POR

L. RODRIGUEZ PIRE

DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

Es un error, demasiado extendido, el creer que la vida de toda industria depende principal y decisivamente del precio de la mano de obra.

Es natural que así sea en las industrias basadas en el arte personal del obrero: pero en otras muchas, y entre ellas la siderurgia, el coste de la energía calorífica es muy superior al de la mano de obra, y las economías que en aquélla puedan alcanzarse son mucho más considerables que una economía en los salarios. Así vemos cómo las empresas que pagan jornales más elevados gozan de un mayor desahogo económico porque el encarecimiento que puede suponer un más alto nivel de salarios está ampliamente compensado por una organización más perfecta de la economía térmica. Por otra parte, la energía humana, considerada como pro-

ducto de su esfuerzo físico, es la más cara de todas, y en aquellas fábricas en que, con frecuencia, los obreros son reemplazados por máquinas, el número de aquéllas suele ser mayor y siempre creciente porque en ellas puede adivinarse una organización metódica y una buena economía que conducen lógicamente a un crecimiento de la fábrica.

Prescindiendo de la preparación de minerales que, en cierto modo, podemos considerar como una operación minera, el primer proceso siderúrgico es la fabricación del cok metalúrgico, aunque no es raro que su preparación sea también efectuada por empresas exclusivamente mineras.

## HORNOS DE COK

En la fabricación del cok metalúrgico, que ha evolucionado considerablemente en los años que siguieron a la guerra europea, solo un riguroso control térmico ha permitido alcanzar el grado de economía de combustibles que caracteriza a las instalaciones modernas.

Para poder establecer el balance térmico que permita apreciar el grado de aprovechamiento de las calorías, es preciso determinar:

1.º El peso del carbón que se coquiza y su contenido en humedad.

2.º La cantidad de gas combustible suministrado a los hornos, el cual puede medirse fácilmente con un venturímetro. Pero es preciso también, medir el poder calorífico del gas, a intervalos regulares, así como su temperatura, presión y humedad.

De estos datos puede calcularse el consumo de calor por tonelada de carbón coquizado. Pero la estimación de la economía térmica de los hornos requiere aún otras medidas. Así, para conocer la pérdida de calor en los humos de combustión, es preciso conocer su análisis y temperatura, así como el análisis del gas combustible, para calcular la cantidad de humos, difícil de medir directamente. Aquí nos encontramos ya con un caso típico del con-

trol industrial. Para que este control sea eficaz, tiene que ser completo; es preciso que todo quede sujeto a medida; pero hay medidas de muy difícil o imposible realización directa, como la del volumen de humos producido o del aire empleado en la combustión, y en estos casos acudimos a un sencillo cálculo basado en datos de fácil adquisición.

Si conocemos el  $\%$  volumétrico de los distintos compuestos de carbono en el gas combustible y en el humo de la combustión, el nitrógeno que éste contiene y el volumen de gas que se ha quemado, como quiera que el carbono de los humos es, ni más ni menos, el que contenía el gas combustible, y el nitrógeno del humo es el que tenía el aire comburente, fácil es establecer un sistema de acuaciones que nos permita conocer el volumen de humos con más exactitud que si lo hubiéramos medido directamente.

La temperatura puede medirse con un pirómetro de succión, y el análisis de los gases se hace fácilmente con un sencillo Orsat. Estos datos nos permiten conocer las pérdidas de calor en los humos.

Las pérdidas por radiación podemos valorarlas midiendo temperaturas en distintos puntos de la superficie de los hornos, especialmente en la cubierta, en las puertas y en las paredes exteriores de los regeneradores y aplicando las fórmulas de la radiación del calor.

El calor que se utiliza en la coquización lo tendremos por diferencia entre las calorías producidas en la combustión y las que se han perdido por radiación, conducción y en los humos

Tanto para lograr una calidad del cok buena y uniforme como para obtener una economía térmica satisfactoria, es de suma importancia que la temperatura de la superficie interior de los hornos sea de máxima uniformidad. En aquellos puntos, en que la temperatura sea demasiado alta, el cok se fisurará demasiado y dará una proporción indeseable de trozos menudos de inferior valor y en aquéllos otros, en que la temperatura sea excesivamente baja, la combustión será deficiente; es decir, habrá pérdida de ca-

lorías y el cok resultará mal cocido y de poca resistencia mecánica.

La distribución de temperaturas puede medirse, bien con pares termoeléctricos de triple soldadura a distancias escalonadas, o más sencillamente, con un pirómetro óptico, inmediatamente después del deshornamiento, aunque este último procedimiento tiene los inconvenientes de que el horno se enfría rápidamente al quedar abierto y las chispitas producidas por la combustión del grafito pueden inducir a error.

La mayor dificultad con que se tropezó al aumentar las dimensiones de los hornos era lograr esta uniformidad de temperatura; dificultad fácil de comprender si se considera que es preciso mantenerla en superficies que llegan a doce metros de anchura por cuatro y hasta seis de altura. Se ha vencido esta dificultad por diversos procedimientos como el estrechamiento progresivo de abajo arriba de las cámaras de combustión, circulación parcial de los humos por dicha cámara de combustión, aportaciones escalonadas de gas o de aire a diversas alturas, etc., y hasta qué punto se ha logrado nos lo indica el que cualquier batería bien construída no ofrece diferencias superiores a  $80^{\circ}$  en dirección vertical y menores aún en dirección horizontal.

En el consumo de calor influye, naturalmente, el tiempo de coquización, y las causas que pueden alterar éste, como por ejemplo, las variaciones de humedad. El tiempo mínimo de coquización corresponde a un contenido en humedad del carbón de 8 por  $\%$  bien sea debido, según Koppers a que los productos volátiles, que se desprenden a temperaturas de  $280^{\circ}$  a  $350^{\circ}$  en el período de pregasificación, cedan una parte de su calor suficiente para vaporizar esa proporción de agua o a que esa humedad corresponde a una densidad mínima de carga y a un menor hinchamiento durante la coquización en el cual se empleará por esta razón menos energía, según Roberts o, simplemente, a que una cierta circulación de vapor de agua facilita la transmisión del calor por convección.

Por último, el tiempo de coquización dependerá de la temperatura. En cuanto a los regeneradores, su rendimiento térmico es tal, que empleando gas rico en la combustión, puede precalentarse el aire hasta una temperatura solo inferior en 50° a la de los humos que entran en ellos; quedando reducida la pérdida de calor, por arrastre de los humos, a unas 120 Kcal/ m. c.; imprescindible, por otra parte, para asegurar a las chimeneas un tiro suficiente.

La economía térmica de los hornos de cok se ha perfeccionado tanto que, mientras las instalaciones antiguas consumen la totalidad del gas que producen, en las modernas queda disponible hasta un 55 % para otros usos y, teniendo en cuenta que cada tonelada de hulla produce unos 380 m. c. de gas de unas 4.000 calorías, quedarán disponibles alrededor de 700.000 calorías por tonelada de hulla o sea un 10 % aproximadamente de su poder calorífico; pero calorías de un potencial térmico mucho más elevado que el del carbón y por consiguiente, de mayor valor.

Esta economía de combustible alcanza una cifra que iguala, y a veces supera, a la de jornales; pero, naturalmente, este perfecto grado de economía requiere un costo de instalación considerablemente más elevado, que exige una capacidad de producción suficientemente grande para que pueda amortizarse en un plazo prudencial.

De todos modos, se comprende fácilmente que una vigilancia cuidadosa de la combustión será siempre ampliamente remuneradora al considerar la cantidad y valor de los combustibles que se tratan cada día.

## HORNO ALTO

En el horno alto tienen lugar una serie de reacciones químicas exotérmicas unas, las menos, y endotérmicas otras, las más, constituyendo verdaderos equilibrios químicos dependientes de la temperatura y una serie de trabajos físicos que requieren una cantidad de energía térmica considerable.

Por esta razón, es preciso suministrar al crisol del horno una cierta cantidad de calor y mantener en cada región del horno alto la temperatura más favorable a las reacciones que en ella deban efectuarse.

Cada uno de estos trabajos químicos y físicos son, desde el punto de vista térmico, lo suficientemente conocidos para poder establecer un cálculo teórico de las calorías necesarias para la marcha del alto horno y para hacer un balance térmico de lo que pudiéramos llamar, y suele llamarse, un «horno alto ideal»; en cuyo DEBE figurarían únicamente el calor de combustión del cok, el calor aportado por el viento y el calor producido en la formación exotérmica del carburo de hierro. En el HABER figurarían:

El calor de reducción del óxido férrico y el calor contenido en el hierro fundido.

Es decir, que consideramos un horno en el que se produjese una aleación de 95,7 % de hierro puro y 4,3 % de carbono, a partir de un óxido férrico formado por 70 % de hierro puro y 30 % de oxígeno; con un combustible formado por carbono puro y sin que se formase escoria; soplando aire a 1.100° formado por 23 % de oxígeno y 77 % de nitrógeno (en peso). Admitiendo además, una temperatura de 1.423° para el metal fundido; una relación volumétrica ideal de CO/CO<sub>2</sub> igual a 1, en los gases del tragante, y que su temperatura de salida es la atmosférica (15°) y que no contienen polvo. Se prescinde, además de pérdidas por radiación, etc.

La eficiencia de cualquier horno REAL vendría dada por comparación con la del horno ideal mediante la relación

$$\frac{38,272 \times 100}{C} = R$$

siendo 38.272 el número de Kgrs. de carbono necesarios para producir 100 kilogramos de lingote en el horno ideal y C el consumo real de combustible en el horno real. R es el rendimiento %.

En el balance térmico de un horno real habrán de figurar, ade-

más, de los capítulos indicados, en el DEBE, el calor aportado por el vapor de agua del viento y el de la formación exotérmica de silicatos en la escoria, y en el HABER, el calor de reducción de la sílice, del óxido de manganeso y del anhídrido fosfórico; el de disociación del silicato de hierro, del carbonato de calcio y del hidrato férrico; el calor de descomposición del vapor de agua contenido en el viento, de la combinada y de la procedente de fugas de la refrigeración; el calor de descomposición del fosfato cálcico; el de formación del sulfuro cálcico; el calor contenido en la escoria fundida; el calor sensible de los gases que salen del tragante y de su vapor de agua; el calor arrastrado por el polvo; el calor absorbido por la expansión del aire al salir de las toberas; el calor arrastrado por el agua de refrigeración y el perdido por radiación, conductividad, etc.

Es interesante considerar que no basta suministrar a un horno alto un número determinado de calorías, sino que dichas calorías deben suministrarse con un factor de intensidad; es decir, con una temperatura determinada que es impuesta por la llamada «temperatura crítica» que oscila alrededor de  $1.500^{\circ}$  y que pudiéramos definir como temperatura, a la cual las escorias pueden correr libremente, ya que por estar éstas formadas por una mezcla de cuerpos amorfos carecen de un punto de fusión determinado. Pero no basta alcanzar dicha temperatura de fusión; es preciso rebasarla ampliamente para que la fusión tenga lugar con suficiente rapidez.

En los primeros tiempos del horno alto, cuando se soplaba con aire frío, apenas se alzaban temperaturas de combustión superiores a  $1.680^{\circ}$ , poco superiores a la temperatura crítica y la fusión se efectuaba, desde luego; pero lentamente. En la actualidad; soplando aire a  $700^{\circ}$ , la temperatura que se alcanza en la combustión llega hasta  $2.250^{\circ}$ , es decir, un 35 % más elevada que con aire frío y la fusión se realiza con una rapidez, no proporcional, sino cuatro o cinco veces mayor.

Aquí tropezamos ya con un primer factor de economía que pudiéramos llamar la «concentración del calor».

Esta concentración del calor dependerá, por una parte, de la temperatura del viento, así como de su velocidad y contenido en humedad; por otra parte, dependerá del combustible, según su mayor o menor tamaño, porosidad, combustibilidad y contenido en cenizas; y, finalmente, de las dimensiones del horno y aún de la mayor o menor conductividad térmica de los materiales con que está construído.

El primer efecto, aparentemente paradójico, de la elevación de temperatura del viento, es una disminución considerable de la temperatura de salida de los gases; existiendo entre ambas la relación lineal aproximada.

$$t = - 0,3 T + 320$$

según la cual, a 300° de temperatura del viento corresponde una temperatura de salida de los gases de 250°; mientras que ésta se reduce a poco más de 50° cuando la del viento llega a 900°. Esto ocurre, en general, en todos los hornos; cuanto más elevada es la temperatura de combustión, más fríos son los humos.

Por cálculos que, aunque sencillos, no podríamos reproducir en el estrecho marco de este capítulo, puede demostrarse que a cada 100° de elevación en la temperatura del viento se obtiene una economía de cok que varía entre 85 Kgrs. (al pasar de 300° a 400°) y 45 Kgrs. (cuando se pasa de 800° a 900°) por cada tonelada de lingöte producido. Se ve, pues, que la economía de cok crece con la temperatura del viento, pero cada vez menos por lo que existe un límite práctico, situado por debajo de los 1.000°, del cual no es económico pasar.

Se comprende fácilmente esta economía considerando que, al obtener una temperatura de combustión más alta, la velocidad de fusión es mayor; el horno produce más en el mismo tiempo (otra gran ventaja no valorada) y las pérdidas por radiación, etc., apro-

ximadamente constantes con relación al tiempo, se reparten entre un número mayor de toneladas de hierro.

Además, al reducirse la temperatura de la cuba, se favorece la reducción del mineral por el óxido de carbono.

Se ha demostrado prácticamente que un aumento de presión del viento conduce también a una economía de combustible. Esto se explica, en primer lugar, porque los equilibrios químicos que tienen lugar en el horno alto, especialmente el equilibrio de Boudouard son desplazados en sentido favorable por un aumento de presión; es decir, en el sentido en que la proporción de óxido de carbono es menor, y más avanzada la reacción de los óxidos de hierro; pero ocurre, además, que al aumentar la presión en las toberas, la velocidad del viento aumenta también; la película de difusión en la superficie del combustible se hace más tenue y la combustión, se aviva como sucede al soplar el rescoldo con un fuelle, contribuyendo por la razón antes señalada al enfriamiento de la cuba. Es decir, que los gases salen del horno más fríos porque la rapidez del cambio térmico entre un gas y un sólido es proporcional a la raíz cuadrada de la velocidad de aquél.

Aparentemente, un aumento de presión debiera producir un resultado contrario porque la permanencia de los gases en el horno, ya habitualmente cortísima, disminuye aún. A pesar de esto, los resultados prácticos son siempre considerablemente satisfactorios lo que indica la importancia no bien conocida y valorada de las ventajas a que da lugar un aumento de presión.

Ya en 1904 ha llamado la atención Gayley sobre la importancia económica de soplar con *viento seco*.

Las pruebas hechas por Gayley en un horno alto de 358 toneladas, al reducir la humedad del viento desde 13 grs. a 4 grs. por metro cúbico, dieron por resultado:

Aumentar la producción del horno en un 25 %.

Aumentar el rendimiento de las máquinas por tonelada de lingote en un 15 %.

Disminuir la temperatura de los gases en 90°

Aumentar la temperatura del viento en 102°

Disminuir el consumo de cok en un 19,65 %.

Disminuir, además, la proporción de polvo en los gases y de fósforo en el lingote por disminución del consumo de cok, que es el principal portador de fósforo.

La desecación del aire, si se hace por condensación frigorífica, consume energía; pero este consumo está compensado, al menos en gran parte, por el menor trabajo que se exige a la soplante.

Un informe posterior de la «United States Steel Corporation» confirma una economía de cok del 15 % y un aumento de producción de un 10 %, entre otras ventajas.

La desecación del aire por medio de cámaras frigoríficas ha sido instalada en varias factorías de América y de Europa con resultados económicos completamente satisfactorios en muchos casos y escaso o ligeramente negativo en algunos otros según las condiciones locales.

Naturalmente, la desecación del viento estará más indicada en climas húmedos y poco fríos, como el de Asturias, más aún considerando que su emplazamiento está situado a orilla del río o del mar y dos de ellas en el fondo de un valle.

La importancia de esta economía no es tan grande cuando se dispone de cok propio y barato; es decir, cuando el precio de la caloría—cok es poco superior al de la caloría—carbón y en aquellos otros casos en que el calor disponible en el crisol es abundante como ocurre cuando se emplea combustible de alta calidad, una temperatura de viento muy alta y minerales muy ricos disponiendo, además de una colocación remuneradora para el exceso de gas del horno alto. Ninguna de estas circunstancias se dan, por ejemplo, en el caso de Fábrica de Mieres, en el cual una instalación de desecación se amortizaría en dos años si su producción de lingote fuese más importante.

La desecación del aire se hace actualmente más barata de instalación y de sostenimiento utilizando el poder desecador del gel de sílice y parece completamente indicada en Asturias, sobre todo

si se tratan minerales asturianos pobres y de difícil reducción.

Otro factor económico muy interesante es el enriquecimiento en oxígeno del viento. La economía resultante es una función hiperbólica del grado de enriquecimiento, con disminución rápidamente creciente por lo que no sería práctico pasar de un 5 % volumétrico; es decir, haciendo pasar el contenido en oxígeno del aire de 23 a 28 %. Esto daría lugar a una elevación de la temperatura de combustión que podría suplir en gran parte a una deficiencia de los Cowpers, dando lugar a una disminución relativa de la cantidad de viento con la consiguiente economía de trabajo en la soplante; a una economía de combustible del orden del 10 % y a un aumento de producción que llegaría a 20 % además de otras ventajas referentes a normalidad de marcha.

La contrapartida más importante de estas ventajas está en el coste bastante elevado del oxígeno, por lo que su interés está limitado a casos en que industrias anejas, como la fabricación de amoníaco sintético, pudieran suministrar oxígeno, como subproducto de fabricación, a precio reducido.

En cuanto a las propiedades del combustible, todos los siderúrgicos están de acuerdo en que existen diferencias muy considerables en el resultado económico de emplear unas u otras clases; pero en cambio, no lo están en precisar qué cualidades debe reunir un buen cok para hornos altos. Mientras unos son partidarios de que el cok reaccione con la mayor facilidad posible con el oxígeno y con el  $\text{CO}_2$ , otros opinan que el mejor cok para hornos altos será aquél que más difícilmente reaccione con el  $\text{CO}_2$ .

Se ha convenido en llamar REACTIVIDAD de un cok a su velocidad de oxidación por el  $\text{CO}_2$ , reservando el nombre de COMBUSTIBILIDAD a su velocidad de combustión con el oxígeno. En los últimos años se ha acentuado el interés por la primera, de aplicación también interesante a los gasógenos, y ha decaído el interés por la última.

Casi todos los siderúrgicos aceptan la regla de Grüner, según la cual «el carbono que llega a las toberas debe oxidarse rápida-



mente ante ellas y el CO resultante debe ser quien lleve a cabo la reducción de los óxidos de hierro». Es decir, cuanto tienda a aumentar la reducción indirecta por el óxido de carbono y a disminuir la reducción directa por el carbono, favorecerá la economía de combustible, todo lo contrario de la conclusión a que llegó el Doctor Ladreda en sus cálculos brillantemente expuestos. Quiero expresar en este punto la satisfacción con que escuché al Doctor Ladreda rebelarse contra unos principios que vienen invocándose con énfasis dogmático desde hace muchos años y que en el fondo no son más que unas deducciones teóricas de base experimental muy precaria o nula.

Veamos ahora cómo creen acercarse a la marcha ideal de Grüner cada una de las opuestas orientaciones que a propósito del cok hemos señalado.

Los partidarios del cok poco reactivo creen acercarse a la marcha ideal de Grüner haciendo que todo el combustible cargado en el horno llegue a las toberas para transformarse allí en CO y procuran conseguirlo usando cok poco reactivo para que la merma producida por DISOLUCION DE CARBONO, nombre dado por Sir Lothian Bell a la reacción  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$  sea la menor posible.

Los partidarios del cok muy reactivo señalan el carácter fuertemente oxidante del anhídrido carbónico a la altura de la zona de toberas; en esta zona oxidante los productos reducidos sufrirán una reoxidación parcial que solo podrá repararse ya por reducción directa, en detrimento del ideal de Grüner. Cuanto más reactivo sea el cok, menos extensa será la zona oxidante y más eficaz la reducción indirecta. Además el calor estará más concentrado en el lugar necesario y la temperatura será más baja en las partes altas que deben estar siempre lo más frías posible.

Hoy son mayoría los que adoptan una posición eclectica propugnando un cok poco reactivo hasta los 1.000° y muy reactivo por encima de esta temperatura sin saber a punto fijo si esto es posible aunque procuran conseguirlo calentando durante la co-

quización muy rápidamente hasta los 750° y luego muy lentamente hasta 1.200°.

No falta quien, como Ossan, atribuya escasa o nula importancia a la reactividad por estimar que el calor necesario para la reducción no es más que 1/3 del consumo total de calor y, aún de esa parte, la reactividad no afectaría más que a la reducción indirecta, o como Bansen por estimar que la cantidad de cok quemada en las toberas por unidad de sección, se halla en todos los hornos altos bastante lejos del límite de combustibilidad alcanzado en los gasógenos con fusión de cenizas.

Por último, Melzer recomienda un cok poco reactivo para la obtención de fundición siliciosa, en la que la reducción directa es mayor, y en cambio muy reactivo para la obtención de fundición Thomas.

Veamos ahora lo que la experiencia dice. Los hornos que marchan con carbón vegetal tienen un consumo de combustible mucho menor y dan un hierro y una escoria tanto más calientes que los hornos al cok, a pesar de ser soplados con viento frío. La reactividad, y por consiguiente la disolución de carbono es mucho mayor en el carbón vegetal que en el cok más reactivo.

Otro tanto resulta de la marcha sumamente económica de los hornos escoceses alimentados con SPLINT-COAL, que según Koppers se trata de un durenó que se coquiza en el mismo horno alto con formación de un cok muy reactivo. Citamos también el caso muy instructivo expuesto por Killing y observado en la VEREINIGTEN STAHLWERKE A. G. HOERDER VEREIN del aumento en el consumo de cok experimentado cuando por desarrollo de la instalación de molido de carbones se obtuvo un cok más denso, y menos reactivo y la disminución subsiguiente cuando arreglada la avería se volvió a un cok poroso y reactivo. Se ha observado frecuentemente en los hornos que por efecto de la crisis han tenido que marchar más lentamente un consumo menor de cok por tonelada de lingote, a pesar de que, en estas condiciones,

el tiempo de contacto de los gases, y por consiguiente la disolución de carbono será mayor.

Todos estos resultados prácticos nos hablan claramente de lo poco peligrosa que es para la economía térmica ese otro mito creado por Lothian Bell y consagrado por el tiempo, de la disolución del carbono contra el cual bastaría esgrimir el siguiente razonamiento:

El tiempo real de contacto de los gases con la zona de carga del horno alto comprendida entre los  $800^{\circ}$  y  $1.000^{\circ}$  es poco superior a una décima de segundo y en este intervalo de temperaturas dentro del cual puede tener lugar la disolución de carbono, la proporción de  $\text{CO}_2$  en los gases no será probablemente superior al 30 % del total de óxidos de carbono y, teniendo en cuenta que el nitrógeno estará presente por lo menos en un 60 % de la mezcla gaseosa, la concentración del anhídrido carbónico no será superior al 15 % y probablemente no pasará del 12 %. En estas condiciones no es posible que la disolución de carbono pueda hacerse sentir en la economía del horno y como, además, esta reacción es fuertemente endotérmica veremos al examinar las curvas de equilibrio de Matsubara y de Boudouard la influencia importantísima de la refrigeración y de un aumento de CO en la zona de reducción que nos autoriza a considerar no ya perjudicial sino favorable la disolución de carbono tan temida y combatida por todos los siderúrgicos.

Otra prueba más de lo beneficioso que es reducir la proporción de anhídrido carbónico en esta zona del horno es el hecho irrefutable del aumento de consumo de cok cuando las circunstancias imponen una proporción elevada de caliza que al descomponerse cede en esta zona su anhídrido carbónico; aumento de consumo que, desde luego, es superior al que corresponde al simple aumento de la cantidad de escoria, lo que ha inducido a algunos a cargar la caliza previamente calcinada. Ya el Dr. Ladreda indicó lo antieconómico, que sería convertir la elevada categoría técnica de un horno alto en un vulgar calero; pero hay la necesi-

dad imprescindible de la acción refrigerante que lleva consigo la disociación del carbonato cálcico.

La derivación parcial de gases a un metro por encima de las toberas refrigerados e introducidos de nuevo en la base de la cuba que en alguna revista vimos propuesta hace algunos años sin que hasta la fecha sepa si se ha ensayado o no, es absolutamente racional y sería aún más eficaz si se aprovechara para inyectar cal viva pulverizada en sustitución total o parcial de la caliza.

Descontada la influencia de la disolución de carbono, el comportamiento diferencial de las diversas calidades de cok tiene que estar limitado a su combustibilidad en la proximidad de las toberas. La velocidad de reacción en esta zona es muy grande y la mayoría de los numerosos procedimientos que se han propuesto para medirla, son ineficaces por lo que se ha difundido la idea generalmente aceptada, pero absolutamente falsa, como hemos tenido ocasión de mostrar en un trabajo publicado sobre «Reactividad del cok metalúrgico» de que a 1.800° todos los coques son igualmente reactivos.

Otra cuestión a la que no todos dan la importancia que merece es la relativa al contenido en cenizas del cok para horno alto. La circunstancia de ser la mayoría de las empresas siderúrgicas al mismo tiempo hulleras o principalmente hulleras da lugar a que los ingenieros de las minas se preocupen mucho más de las reclamaciones de los clientes, que pueden dar lugar a discusiones enojosas que de las quejas consideradas como habituales del compañero del horno alto formuladas indebidamente al jefe de los hornos de cok quien se disculpa con las minas; todos se quedan tan tranquilos y no pasa más por aquello de que dentro de casa todo se arregla con facilidad aunque la verdad es que no se arregla nada.

Simmerbach ha calculado que cada unidad por ciento de aumento en el contenido de cenizas, el consumo de cok necesario para la obtención de 100 toneladas de lingote aumenta en 0,67 toneladas. Esta cifra se refiere a hornos que trabajan en una marcha

muy económica y aun así la creemos baja en la práctica; cuando el consumo de cok es de 1.200 a 1.400 Kgrs. como ocurre en algunas de nuestras fábricas, el aumento de consumo producido por las cenizas es mucho mayor y esto se agrava en el caso de carbones piritosos como los asturianos ya que la mayor parte del azufre contenido en las cenizas del carbón queda retenido por el cok y para eliminarlo hace falta un volumen de escoria exageradamente grande que a su vez exige nuevas cantidades de cok. Esto puede corregirse notablemente desechando para otros usos el carbón recuperado en las últimas cajas de flotación que es el de peor calidad. Es lo que hace Hulleras del Turón para servir a Altos Hornos de Vizcaya; pero en este caso particular, la voz de la fábrica es bastante potente para hacerse oír desde las minas.

## HORNOS DE ACERO

Prescindiendo del afino «al viento»; es decir, por convertidores Bessémer o Thomas que en Asturias no se practica, en la fabricación del acero por el procedimiento Martín-Siemens, el combustible que se emplea generalmente es el gas de gasógeno y en la preparación racional de este gas reside el factor más importante de la economía de un taller de aceros.

El gas de los gasógenos que se emplean en la fabricación de acero está formado por una mezcla de gas pobre, gas de agua y gas de destilación. La composición de los dos primeros, o sea del gas mixto, depende de las condiciones de marcha; en cambio la del último depende solo de la clase de carbón que se utiliza.

Formándose este gas en un proceso de combustión, seguido de una desoxidación, se comprende que una marcha descuidada puede dar lugar a que un fallo de esta segunda parte, dé por resultado una combustión demasiado avanzada, con producción de un gas de reducidísima eficacia.

En una marcha bien conducida, el contenido final en anhídrido carbónico no debe pasar del 5 %; pero esta circunstancia es

capa en absoluto a la apreciación del obrero más práctico, y solo un control térmico permanente puede acusarlo. La suma de CO y CO<sub>2</sub> no debe ser nunca, según Dichmann, inferior a 35,6 %.

Cualquier elevación anormal del anhídrido carbónico es debida a una irregularidad de distribución en la capa de carbón con formación de chimeneas por las que, al pasar los gases con velocidad excesiva, no tienen tiempo de reaccionar con el carbón. Estas chimeneas se evitarán, únicamente, empleando un combustible de tamaño uniforme y conveniente y manteniendo una altura de carga constante. Pero sabemos que los carbones de tamaño ideal para gasógenos tienen un sobrepeso considerable respecto de los carbones menudos de potencia calorífica casi igual, por lo que, modernamente, se proveen los gasógenos de sistemas de carga y agitación como el de Chapman, que permiten emplear carbones más menudos, aún de aquéllos que tienen alguna tendencia a pegarse como ocurre a muchas de las hullas asturianas.

La inyección de vapor de agua, no solo regula la temperatura en el gasógeno, sino que modifica la composición del gas, y debe dosificarse cuidadosamente de modo que el contenido en hidrógeno de los gases se mantenga alrededor de un 15 %.

Cuanto más activamente trabaje un gasógeno, más alta será su temperatura de combustión, pero ésta será limitada en cada caso por la temperatura de fusión de las cenizas, la cual es preciso evitar a toda costa, porque sino se obstruirían las parrillas. Es ésta una circunstancia a la que no suele concederse toda la importancia que merece si consideramos que en un mismo gasógeno se pueden gasificar de 25 a 75 Kgrs. de carbón por metro cuadrado de parrilla y hora, según que el punto de fusión de las cenizas sea 1,150° o 1,450°.

### HORNO MARTIN-SIEMENS

El ideal termotécnico de la combustión en el horno Martín sería lograr una mezcla perfecta de gas y aire, antes de iniciar su

combustión, para que ésta tuviera lugar completamente en el corto trayecto en que el calor puede propagarse a la carga; pero prácticamente, no se consigue nunca ésto; y por otra parte, la dificultad de un control térmico riguroso se aumenta en estos hornos al tomar los gases de combustión óxido de carbono de la carga.

Los humos salen del crisol entre 1,200° y 1,400° y de los regeneradores entre 500° y 600°, a veces hasta a 800°; siendo por tanto, bastante deficiente el rendimiento térmico de los regeneradores a causa de que la elevada temperatura a que trabajan ocasiona una escorificación más o menos avanzada del material refractario, reduciendo su conductividad térmica; y por otra parte, los gases arrastran bastante polvo. Por esta razón, el aire y el gas se calientan en ellos a temperaturas que rara vez pasan de 800° y 1.000° respectivamente.

El rendimiento térmico de los hornos Martín es muy desfavorable ya que, solo por radiación, refrigeración, etc., se pierde un 40 por % del calor producido, y esta pérdida es inevitable, ya que la conservación de la mampostería, que soporta interiormente temperaturas muy elevadas, solo puede lograrse gracias a la acción refrigerante del aire y del agua, y por otra parte, los humos, que, como ya dijimos llegan a la chimenea con una temperatura de 500° a 800° arrastran un 30 % del calor producido. Del otro 30 % que se aprovecha en el proceso metalúrgico, el 16 % se emplea en calentar el hierro, un 7 % en calentar la escoria y otro 7 % para reacciones químicas, principalmente para reducción del mineral.

Con calderas de vapor bien instaladas se puede recuperar una parte considerable del calor de los humos. Según cifras prácticas del CONTROL TERMICO DE DUSSELDORF, se pueden obtener hasta 500 Kgrs. de vapor a alta presión por tonelada de acero y, además, la producción de los hornos aumenta a causa de la intensificación de tiro que produce el ventilador.

## HORNOS DE LAMINACION

Pueden calentarse estos hornos con un combustible cualquiera ya que su régimen de temperaturas está comprendido entre 1.160° y 1.130°.

## HORNOS DE FORJA

Por último, en un horno de forja el aprovechamiento es del 7,1 % del calor producido; grado de aprovechamiento que puede considerarse como bueno, en estos hornos que trabajan a temperaturas moderadas de 950° a 1.130°; resultado que solo se lograría con un control térmico conveniente, porque abandonado a la buena voluntad de un fogonero, difícilmente llegaría al 2 % el calor aprovechado.

## CONJUNTO

Atendiendo ahora al conjunto de una fábrica siderúrgica, hemos visto que pueden quedar disponibles para otros usos térmicos:

Un 55 % del gas producido en los hornos de cok con 4.000 calorías por m. c. y un 42 % del gas de hornos altos con 950 calorías por m. c.

En la utilización racional de estos gases estriba el factor que podemos considerar decisivo de la economía de la fábrica; pero no siempre la solución más racional desde un punto de vista teórico es la más práctica y provechosa. Desde luego, la utilización de este potencial calorífico dependerá de una serie de circunstancias como son capacidad de producción, lugar de emplazamiento, precio de los combustibles y de la energía eléctrica.

La utilización racional de combustibles exige que los más nobles; es decir, los que tengan un poder calorífico más alto, y un



grado de aprovechamiento mayor, han de emplearse en aquellos usos que exijan una mayor concentración del calor.

Desde este punto de vista, no cabe duda que el gas de hornos de cok debe emplearse en calentar los hornos Martín, y de no ser así, los de laminación, que le siguen en temperatura. En cambio el gas de horno alto tiene su campo de aplicación indicado en la producción de fuerza motriz, bien sea en motores de gas o quemándolo en calderas de vapor.

En el primer caso se consumirían de 3.500 a 3.600 calorías por Kwh. y en el segundo, 4,5 Kgrs. de vapor a 11 ats. y 300° de sobrecalentamiento por Kwh., utilizando calderas con un rendimiento del 80 %, referido al poder calorífico del gas; lo que representa unas 4.000 calorías-gas.

Esta primera comparación es ligeramente favorablemente a la solución motor de gas. Tiene, por otra parte, el motor de gas la ventaja de poderse recuperar el calor de sus gases de escape produciendo hasta 1,4 Kgrs. de vapor a 11 atmósferas y 300° de sobrecalentamiento por Kwh. producido, y aún cabe recuperar, en forma de agua caliente, el calor de refrigeración, que puede valorarse en otras 330 calorías vapor; pero, en cambio, tiene el inconveniente de que su coste es mayor, y no hay ninguna razón decisiva para elegir indefectiblemente uno de los dos sistemas; por el contrario, pueden decidir esta elección otras circunstancias, como la posibilidad o no de utilizar el vapor de escape de la turbina para calefacción. Sin duda lo más racional, en grandes instalaciones, será un sistema mixto motor de gas—caldera de recuperación de escape—turbina, y utilización del calor latente de su vapor.

El empleo del gas de hornos de cok para calefacción de los hornos Martín iniciado por las acererías de Hoersch hacia 1913, tiene un pequeño inconveniente y es que no admite precalentamiento porque se descompone, y empleándolo frío, no da una temperatura de combustión conveniente. La solución que parece más aceptable es mezclarlo en proporción conveniente con gas de

horno alto, y en esta forma puede pasar ya por las cámaras de recuperación sin que sea de temer su descomposición.

Naturalmente, la marcha de un horno Martín no puede estar a merced de las interrupciones de marcha de un horno alto, y para salvar éstas sería necesario instalar gasómetros muy grandes y costosos y, aún así, solo quedarían salvadas las interrupciones normales. Esta solución no será práctica más que en fábricas que dispongan de varios hornos altos.

Cuando la coquería está instalada cerca de alguna capital importante, la utilización más ventajosa del gas sobrante es como gas de alumbrado, recogiendo separadamente, en barriletes independientes, el de las primeras y últimas horas de la coquización, para calentar la batería, y el de las horas intermedias que se suministra al público.

En Alemania se ha establecido una amplia red de distribución que, colectando el gas de numerosas coquerías lo reparte por las principales capitales alemanas; pero mucho antes, en 1903, se inició ya esta distribución a distancia en Saint Margrethen (Suiza). En Francia existen varias distribuciones de este tipo y al terminar la concesión de la «Compañía del gas de París» ordenó el Gobierno francés un estudio para la alimentación de París con el gas producido en las coquerías del norte de Francia que no se si se habrá realizado o no.

Según los cálculos de Grebel, publicados en «Genie Civil», un consumo de 1.000.000 de m. c. por año, que es aproximadamente el consumo actual de Oviedo, es económicamente realizable hasta una distancia máxima de 25 kilómetros.

Nos encontramos, pues, dentro de un radio económico respecto de La Felguera y Mieres. Claro está que esto exige un precio de coste no muy elevado y para lograrlo se precisa una cifra importante de fabricación.

Hace algunos años, hube de informar sobre la conveniencia o no de instalar una batería nueva de hornos de cok para producir

120 toneladas diarias de cok. Acababa de visitar en Alemania una instalación sesenta veces mayor que trabajaba con menos personal que la vieja batería que quería reemplazarse. Había visto, también en Alemania, derribar una batería en bastante buen estado (a mi me parecía magnífico al lado de la nuestra a la que llevaba de ventaja lo menos quince años de perfeccionamientos). Mi informe, del que nunca me he arrepentido, fué aconsejar la asociación con otras fábricas que entonces se encontraban en circunstancias parecidas y en vez de construir baterías que habían de parecer maquetas y serían costosísimas, se construyese una sola con capacidad que permitiese amortizarla en poco tiempo. Pero es un fenómeno tan raro poner de acuerdo a dos empresas españolas, que ni siquiera se intentó y hubo de optarse por parchear lo mejor posible aquellos viejos hornos en espera del día en que un orden nuevo remediasse los males viejos de nuestra economía industrial.

En los tiempos de escasez en que vivimos, en que la depreciación de la moneda es incomparablemente superior al aumento de retribución del trabajo toda euforia parece justificada en cualquier empresa productora; pero día llegará y quiera Dios que sea pronto en que los españoles alcancemos el nivel de vida que nos corresponde, en que la palabra estraperlo se haya olvidado por falta de uso y ese día la euforia se trocará en lamentos para las empresas que hoy vivan alegremente sin prepararse para tiempos menos fáciles.

Con fronteras o sin ellas, vivimos en el mundo y nuestra economía nacional estará siempre articulada a la economía de los demás países; pero esa articulación seguiría siendo onerosa para España si, orgullosos de nuestros valores espirituales, no nos preocupásemos, de elevar nuestros valores materiales y en el caso concreto de la Siderurgia, ahora sobre todo, que los minerales ricos de Bilbao pueden considerarse agotados, ese nivel solo podrá alcanzarse por una economía térmica muy superior al despilfarro actual.

La consigna que nuestro Caudillo ha dado a la industria nacional es: Producir, producir, producir. Como todas las consignas es breve, clara e insistente. Por tres veces se ordena producir; pero así como al gritar España las tres veces de ritual la invocamos con el corazón puesto en tres ideales distintos de grandeza, de unidad y de libertad, que sintetizan el ideal superior de Imperio, la consigna de producir debe entenderse producir mucho; producir bien y producir barato que, en síntesis es edificar la base material capaz de sostener el imperio espiritual que a España corresponde.