



342619

P A T E N T E
D E
I N V E N C I O N

por "UN METODO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE OPERACION DE UN ALTO HORNO DE ZINC Y PLOMO", a favor de la firma británica METALLURGICAL PROCESSES LIMITED E IMPERIAL SMELTING CORPORATION (N.S.C.) LIMITED, que hacen negocios conjuntamente en las Bahamas bajo la denominación comercial de METALLURGICAL DEVELOPMENT COMPANY, residente en Trust Building, Frederick Street, Nassau, Bahamas.

= . =

MEMORIA DESCRIPTIVA

Este invento se refiere a un método para mejorar la eficiencia de operación de un alto horno de zinc y plomo en el que se cargan coque metalúrgico y un aglomerado que contiene óxido de zinc y óxido de plomo y se inyecta gas precalentado que contiene oxígeno por toberas cercanas al fondo del horno, mientras por debajo de estas toberas se extraen, de ordinario a intervalos pero a ser posible de manera con-

5.



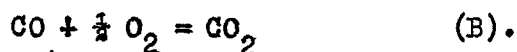
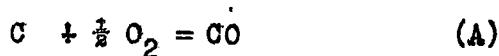
342619

- tinua, plomo fundido y escoria, en tanto que el óxido de zinc de la carga se reduce principalmente a vapor de zinc, el cual, junto con los gases permanentes engendrados (constituídos predominantemente por monóxido de carbono, bióxido de carbono y nitrógeno), se conduce a través de una toma (o tomas) por encima de la línea de apilamiento del horno a un condensador (o condensadores) donde se le condensa, de ordinario por el expediente de ponerlo en contacto con una ducha de plomo fundido.
- 5.
10. La eficiencia mejorada de operación de un alto horno de zinc y plomo se logra, según el invento, por un método mejorado para controlar las cantidades y temperaturas relativas de los materiales de carga y el gas portador de oxígeno que se introducen en el horno, en el que las medidas de control tomadas implican la interpretación del funcionamiento corriente del horno a la luz de un modelo que representa los factores físicoquímicos subyacentes importantes. Una característica del invento es que, aunque toda descripción completa de las reacciones químicas que se producen en la cuba debe ser muy complicada, nuestros estudios físicoquímicos han determinado cuáles de éstas son importantes y cuáles de sus características tienen importancia. De esta manera hemos desarrollado un modelo que es adecuado para representar el funcionamiento del horno y
- 15.
- 20.
25. que puede ser traducido a forma matemática apta para el manejo en una computadora.



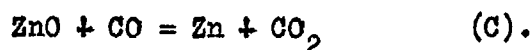
Las reacciones importantes que se producen en la cuba del horno son las siguientes: En primer término, la combustión del combustible carbonoso en las toberas da principalmente monóxido de carbono junto con un poco de

5. bióxido de carbono, por las reacciones exotérmicas:



Un poco del monóxido de carbono reduce óxido de zinc, para producir vapor de zinc, por las reacciones endotérmicas:

10. cas:



Algo más arriba en la cuba, un poco del dióxido de carbono engendrado en las reacciones (B) y (C) reacciona con carbono en el coque para formar monóxido de carbono,

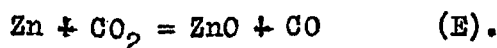
15. por la reacción endotérmica:



En parte en la zona donde se produce la reacción (D), pero principalmente en la zona superior del horno, donde

20. el aglomerado (que normalmente se carga frío cuando se toma del depósito, pero que puede hallarse a temperatura más alta cuando se le trae directamente de la planta de aglomeración) y el combustible carbonoso normalmente cargado a unos 800° C) se calientan por la acción de los gases ascendentes, un poco de óxido de zinc se regenera en

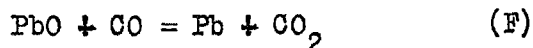
25. la superficie de la carga descendente, por la invención exotérmica de la reacción (C):





342619

También cerca de la parte superior de la carga del horno se reduce óxido de plomo por obra del monóxido de carbono:



5. Una característica del modelo físicoquímico es que el funcionamiento del horno depende básicamente de los coeficientes de transferencia de calor y de masa y del coeficiente de la reacción (D), mientras que las otras reacciones (las reacciones C, E y F) son tan rápidas que
10. sus coeficientes están determinados en esencia por los coeficientes de transferencia de masa. En consecuencia, existe una zona de equilibrio en el horno donde el gas y el sólido se hallan fundamentalmente a la misma temperatura y donde existe equilibrio químico entre el gas y el sólido
15. respecto a las reacciones (C) y (E).

- En un aspecto, el invento consiste en un método para mejorar la eficiencia de operación de un alto horno de zinc y plomo, mediante el control de la proporción de zinc a carbono en la carga y de la temperatura
20. de precalentamiento del soplo conteniendo oxígeno, según los valores, continuamente fiscalizados, de (I) dicha proporción de zinc/carbono, (II) dicha temperatura de precalentamiento del soplo, (III) la proporción de materiales formadores de escoria respecto a carbono en la carga, (IV)
25. la composición del gas del horno, (V) el contenido de zinc de la escoria, y (VI) la temperatura de la escoria fundida



342619

que sale del horno.

El invento se describirá a continuación haciendo referencia a los dibujos adjunto, en los cuales:

- 5. - la figura 1 es una sección transversal, diagramática, de un alto horno según el invento,
- la figura 2 es un diagrama de circulación del computador, y
- la figura 3 es un diagrama de circulación de los cálculos del computador.

10. En las figuras significan:

- 1 Campanas de carga
- 2 Descarga del gas
- 3 Línea de apilamiento
- 4 Zona de precalentamiento de la carga
- 15. 5 Zona de equilibrio
- 6 Toberas
- 7 Zona de combustión y fusión
- 8 Descarga para la escoria y el plomo

9 Ajuste $T_e = 1000$

20. $z = 0$

10 Cálculo de los nuevos valores de z

Ecuación 3

11 Cálculo de K a base de la ecuación 1

Cálculo del nuevo valor de T_e , ecuación 2

25. 12 La diferencia entre el nuevo valor de T_e y el valor anterior de T_e , ¿ es mayor de $0,1^{\circ} C$?

342619



- 13 Sí
- 14 No
- 15 Valores finales de T_e y z
- 16 Cálculo de Z y S , ecuaciones 20 y 21
- 5. 17 Cálculo de z y T_e , modelo de la zona de equilibrio
- 18 No
- 19 Los valores nuevos y anteriores de n , ¿difieren en menos de 2×10^{-4} ?
- 20 Si
- 10. 21 Los valores nuevos y anteriores de z , ¿difieren en menos de 2×10^{-4} ?
- 22 Cálculo de n , modelo de la zona de precalentamiento
- 23 Cálculo de la pérdida de zinc en la escoria

15. El propósito fundamental que inspira las ecuaciones que han de desarrollarse es poder predecir el efecto sobre el rendimiento, en puntos futuros del tiempo, de los cambios en las condiciones de operación. Este modelo se desarrolla primeramente en forma estática y luego se adapta para dar la respuesta dinámica de la planta.

20. El rendimiento de la cuba puede medirse por una combinación de dos cualesquiera de las funciones siguientes:

- a) el coeficiente de admisión de zinc en el horno,
- b) el coeficiente de salida de zinc en el gas,
- 25. c) el coeficiente de salida de zinc en la escoria.

342619



El rendimiento se mide por completo en términos de la fusión de zinc; esto se debe a que el nivel del plomo utilizado tiene poco efecto sobre el rendimiento del horno como fundidor de zinc. Normalmente, la cantidad de plomo alimentada al horno se halla entre 1/3 y 1/2 de la alimentación de zinc, en relación de peso por peso.

De las tres funciones citadas antes, el coeficiente de salida de zinc en el gas es extremadamente difícil de medir a base de plazo corto, y de ahí que la salida se mida en términos de la admisión de zinc y la pérdida de zinc.

FORMULACION DEL MODELO ESTATICO

El funcionamiento de un alto horno de zinc y plomo depende básicamente de consideraciones termodinámicas, de los coeficientes de transferencia de calor y de masa y del coeficiente de reacción D anterior. Los coeficientes de las otras reacciones son suficientemente rápidos para ser considerados como instantáneos. Se ha demostrado que, en una considerable extensión del horno, el gas y el sólido se hallan en equilibrio térmico y químico (zona II, fig. 1).

El equilibrio químico para la reducción del zinc está definido por:

$$K = \frac{[P.CO_2][P.Zn]}{[P.CO] aZn.O_s}$$

se refiere a presiones parciales y
es una función de temperatura.



La actividad del óxido de zinc sólido (aZnO_s) se asume igual a la unidad.

- Dentro de la zona de equilibrio, se produce la reacción endotérmica de carbono con bióxido de carbono (reacción D) y el equilibrio se mantiene por la rápida oxidación de zinc por obra del bióxido de carbono, que es una reacción exotérmica. Encima de la zona de equilibrio, el precalentamiento de la carga, respecto a la temperatura de equilibrio, se produce por una combinación de enfriamiento de gas y reoxidación de zinc, en la que la proporción de cada uno está regida por los coeficientes respectivos de transferencia de calor y de masa. Esta zona de precalentamiento se indica como Zona I en la figura 1. Se asume que la relación entre el coeficiente de transferencia de calor y de masa está regido por la analogía de Chilton Colburn y que el calor radiante puede despreciarse. Dado que un poco del precalentamiento de la carga se efectúa por enfriamiento del gas, el gas sale de la carga en estado de desequilibrio y, para evitar la deposición excesiva de óxido de zinc en las descargas de gas, se recalienta éste por adición de aire encima de la carga. Este aire reacciona exotérmicamente con el monóxido de carbono del gas.
- 5.
- 10.
- 15.
- 20.

- En vista de la presencia de la zona de equilibrio, es conveniente dividir el horno en la parte superior de la zona de equilibrio y tratar separadamente las
- 25.



342619

dos secciones.

(a) Zona equilibrio y de fusión (Zonas II y III, fig. 1)

Las admisiones a esta zona son:

- (I) gas conteniendo oxígeno a temperatura de precalentamiento T_p
- (II) carga a temperatura de equilibrio T_e

Las salidas son:

- (I) gas a temperatura de equilibrio T_e
- (II) escoria a temperatura T_{sI}

10. Si la zona se considera aislada del resto del horno, la reacción total en la zona puede representarse así:



donde

- 15. z es el número de moles de zinc fundidos por átomo de oxígeno en el soplo y
- (p + 1) es el número de moles de carbono quemados por átomo de oxígeno en el soplo, mientras que
- R es el índice de inertes respecto a oxígeno en el
- 20 gas de soplo, que se asume ser 1.881 en los cálculos que siguen, es decir, el índice para el aire.

Asumiendo que la actividad del óxido de zinc sea la unidad, el equilibrio se define por :

$$K = \frac{[z(z-p)]}{[(1+2p-z)(2.881+p+z)]} \quad (1)$$



342619¹

donde K , la constante de equilibrio, está relacionada a la temperatura de equilibrio (T_e) por la ecuación :

$$RT_k \ln K = -47,345 + T_k (51.23 - 2.92 \ln T_k) \quad (2)$$

donde $T_k = T_e + 273,3$.

5. La ecuación 2 contiene el índice de la energía libre, a temperatura T_k , para la reacción $ZnO + CO \rightarrow Zn + CO_2$.

Otra ecuación puede formarse a partir de un equilibrio térmico en toda la zona. Insertando los índices apropiados de calor de reacción a la temperatura T_e , los términos de calor sensible para calentar el soplo desde la temperatura T_p hasta la temperatura T_e y la escoria aglomerada sólida desde T_e hasta T_{sl} , junto con el calor latente de fusión de la escoria, se obtiene la ecuación:

$$15. \quad z(42,220 + 10.17T_e - 13.02T_{sl}) = 21.750 + 1.37T_e - p(42,370 - 2.09T_e) \\ - Z(13.02T_{sl} - 13.13T_e + 4322) - S(0.2440T_{sl} - 0.2607T_e + 126.4) \\ - (T_e - T_p) (16.75 + 0,00121 (T_e + T_p))$$

donde

20. Z significa los moles de óxido de zinc que entran en la zona de equilibrio por átomo de oxígeno en el soplo y
- S significa las libras de material de escoria que entran en la zona de equilibrio por libra-átomo de oxígeno en el soplo.



342619

Esta ecuación asume una pérdida de calor de 4 kilocalorías por libra-átomo de oxígeno en el soplo.

Las ecuaciones 1, 2 y 3 pueden resolverse para \underline{z} y T_e si se conocen los valores de Z , S , P , T_p y T_{sl} .

5. Este cálculo se efectuó en un computador Elliot 503 y el diagrama de circulación del computador se muestra en la figura 2.

Para calcular el nuevo calor de T_e , la ecuación (2) se reordena en la forma:

10. T_e (nuevo) = $47,345 / \sqrt{51.23 - R \ln K - 2.92 \ln(T_e(\text{viejo}) + 273.3)}$ (4)

15. Se halló que este cálculo era rápidamente convergente, siendo suficientes cuatro repeticiones en todas las condiciones, Si se invierte la operación, es decir, si se usa la ecuación 3 para calcular T_e y las ecuaciones 1 y 2 para calcular \underline{z} , el método es divergente. El valor de T_e se halla entre 950°C y 1150°C y depende principalmente de los niveles de T_p y p .

(b) Zona de precalentamiento de la carga

(5) y (10)

- 20.

Las ecuaciones para esta zona son las siguientes:



$$dT_g/dx = -h(T_g - T_s) \quad (5)$$

$$dp_1/dx = hD_i \ln \left[\frac{(1-p_1)}{(1-p_1)'} \right] \quad (6)$$

$$H_g(dT_g/dx) = H_g(dT_g/dx) + H_t dy/dx \quad (7)$$

$$P_1 = (z-y)/(2.881 + p + z - y) \quad (8)$$

$$5. \quad P_2 = (1+2p-z+y)/(2.881 + p + z - y) \quad (9)$$

$$P_3 = (z-p-y)/(2.881 + p + z - y) \quad (10)$$

$$\left[\frac{(1-p_1)}{(1-p_1)'} \right]^{0.81} \left[\frac{(1-p_3)}{(1-p_3)'} \right]^{0.81} \left[\frac{(1+p_2)}{(1+p_2)'} \right] \quad (11)$$

$$K = P_1 P_3 / P_2 \quad (12)$$

donde

10. p_1 , p_2 y p_3 son las presiones parciales del zinc, el monóxido de carbono y el bióxido de carbono en la masa de la fase gaseosa,

P_1 , P_2 y P_3 son las mismas presiones parciales en la superficie sólida,

15. T_g es la temperatura del gas,
 T_s es la temperatura del sólido,
 x es la distancia medida hasta el horno desde la cima de la zona de equilibrio,
 y es el número de libras-moles de zinc oxidadas

20. por libra-átomo de oxígeno en el soplo, de $x = 0$ a $x = x'$, donde x' es el valor en la línea de abastecimiento, y

D_i es la difusividad relativa del zinc,

y donde D_i es dado por:

$$25. \quad D_i = 0.81 / \left[0.81(p_1 + p_3) + 1.0(p_2 + P_{N_2}) \right] \quad (13)$$



Las ecuaciones 5 y 6 dan los coeficientes de transferencia de calor y de masa respectivamente, en la zona; la constante conectante (h) entre las dos ecuaciones implica la analogía de Chilton Colburn. (Esto asume

5. que la Lewis No es la unidad y que la presión parcial de gas inerte permanece sensiblemente constante.) La ecuación 7 define un equilibrio de calor sobre la extensión Δx , donde H_s es la capacidad térmica de la carga, H_g es la capacidad térmica del gas y H_r es el calor de la reacción, a la temperatura T_s , de la reacción $Zn + CO_2 \rightarrow ZnO + CO$. La ecuación 11 es un equilibrio de masa para los componentes del gas en la superficie sólida y, lo mismo que la ecuación 13, asume que la difusividad del vapor de zinc y la del bióxido de carbono son aproximadamente 0,81 veces la difusividad del monóxido de carbono y la del nitrógeno. Dado que la reacción entre el zinc y el bióxido de carbono es rápida, el gas en la superficie del sólido se hallará en equilibrio; esto lo demuestra la ecuación 12, donde
- 15.

20. $R(T_s+273.3)\ln K = -47,345+(T_s+273,3) (51.23-2.92 \ln(T_s+273.3))$

Esto asume que la reacción de oxidación se desarrolla únicamente en la superficie sólida (es decir, la reacción es heteropolar). Diferenciando la ecuación 8 y reordenando las ecuaciones 5, 6 y 7 se obtiene:

25. $dy/dT_s = \frac{H_s - H_g}{H_T} (dT_g/dT_s) \quad (14)$

$dy/dT_s = H_s / \frac{H_T - (H_g(2.881+p)(T_g - Y_s)) / (D_1 U(2.881+p+z-y)^2)}{H_T} \quad (15)$



donde $U = \ln \left[\frac{(1-p_1)}{(1-p_1)} \right]$ se obtiene de la solución de la ecuación:

$$\frac{\left[(2.881+p+z-y) - e^u(2.881+p) \right] \left[(2.881+p+z-y) - e^u(2.881+2p) \right]}{= K \left[(3.881+3p) e^{0.81u} - (2.881+p+z-y) \right] \left[2.881+p+z-y \right]} \quad (16)$$

5. Estas ecuaciones diferenciales tienen las siguientes condiciones limitantes:

$$T_g = T_s = T_e, \quad y = 0 \quad \text{inicial}$$

$$T_g = T_f \quad \text{final}$$

10. donde T_f es la temperatura del sólido en la parte superior de la carga. La cantidad total de zinc reoxidado sobre toda la zona (n) es dada por

$$n = \int_{T_s = T_e}^{T_s = T_f} \left(\frac{dy}{dT_s} \right) dT_s \quad \text{moles por átomo de oxígeno en el soplo.}$$

15. Para la solución de las ecuaciones en el computador, se halló conveniente reestructurar la ecuación 16 en la forma:

$$U = \ln C_2 \quad (17)$$

$$20. \quad \frac{dC_2}{dK} = - \frac{\left[(3.881+3p) C_2^{0.81} - C_1 \right] / \left[C_1 (5.762+3p) - C_2 (5.762 + 4p) (2.881+p) + 0.81 K C_1 C_2^{-0.19} (3.881+3p) \right]}{\quad} \quad (18)$$

donde $C_1 = 2.881 + p + z - y$.

$$\frac{dK}{dT_s} = K(23851.4 / (T_s + 273.3)^2 + 1.471 / (T_s + 273.3)) \quad (19)$$

342619



Dado que el valor inicial de T_s es igual a T_e , el valor inicial de K será el calculado para la zona de equilibrio: por lo tanto

C_2 (inicial)=1, y U (inicial) = 0.

5. La temperatura final del sólido es la temperatura media del aglomerado a 15° C y del coque a 800° C. Sin embargo, la combustión del aire cimero encima de la carga origina radiación del gas encima de la carga en la superficie superior de la carga, alterando así el valor de T_f . En el cálculo efectuado se decidió ignorar esta radiación. Se opinó que esto no afectaría a la forma del polinomio, aunque podría originar errores en los coeficientes calculados teóricamente (cuando el modelo se usa para controlar el horno, únicamente se usará la forma del polinomio obtenida de consideraciones teóricas, obteniéndose los coeficientes por regresión de los datos de la planta).
- 10.
- 15.

- Las ecuaciones 14, 15, 17, 18 y 19 se resolvieron por un simple proceso iterativo. La gama de temperatura del sólido ($T_c - T_f$) se dividió en una serie de pasos ΔT_s y, partiendo de $T_s = T_e$ y conociendo el valor p , se calcularon los valores z y K (inicial) de ΔK , ΔC_2 , ΔU , ΔT_e e y y de ahí se obtuvieron nuevos valores de T_g , T_s , y , K , U y C_2 . Se repite esto hasta que $T_s = T_f$ cuando $y = n$. Se toma entonces la mitad del valor de T_s y se efectúa una segunda iteración para hallar un nuevo valor de n . Se realizan a continuación otras iteraciones más (tomando cada vez la mitad de ΔT_s) hasta que n se mantiene cons-
- 20.
 - 25.



tante hasta dentro de $\pm 1,0 \times 10^{-4}$. El método es convergente con bastantes rapidez y el número de iteraciones varia entre 2 y 5 según los valores iniciales de \underline{z} y \underline{p} . El número inicial de pasos fué de 16 en cada caso, es decir,

5. $(T_s - T_f)/16$ para la primera iteración.

(c) Modelo de la cuba entera del horno

Las dos secciones del modelo pueden ahora combinarse para establecer una relación total para la cuba.

- Las admisiones al modelo son D, Sr, T_p , \underline{p} y T_{s1} , donde D es la proporción de zinc a carbono en la carga (en peso) y Sr es la proporción de material formador de escoria respecto a carbono en la carga (en peso). La salida que ha de predecirse, para cálculos de aprovechamiento, es la pérdida de zinc en la escoria. A partir de D y Sr pueden calcularse los valores de Z y S que son las admisiones al modelo de zona de equilibrio y fusión, utilizando las fórmulas:
- 10.
- 15.

$$Z = 12.01D (p + 1)/65.38 + n \tag{20}$$

$$S = 12.01 Sr (p + 1) \tag{21}$$

- A causa de la dependencia de Z respecto a \underline{n} , debe usarse otra operación iterativa más, para el modelo como conjunto. En la figura 3 se muestra el diagrama de circulación de los cálculos del computador.
- 20.

Este cálculo es rápidamente convergente y requiere tan sólo 3 ó 4 iteraciones para obtener \underline{z} y \underline{n} con

342619



el grado de exactitud requerido. A partir de z y n , puede calcularse el valor de las pérdidas de zinc en la escoria por unidad de carbón cargada (en peso), L , utilizando la fórmula:

5.
$$L = D - 5.444 (z - n)/(p + 1) \quad (22)$$

con z y n exactos hasta $2,0 \times 10^{-4}$, mientras el valor de L es exacto hasta $\pm 0,001$. Utilizando un computador Elliot 503, programado en el lenguaje computador normalizado Algol, cada determinación de L ocupa aproximadamente

10. 5 segundos.

Como las ecuaciones del modelo son demasiado complicadas para transcribirlas en forma polinómica por medios analíticos, se calcularon los valores de L para un trazado factorial de p , T_p y D , a 3 niveles de S_r y 2 niveles de T_{sl} , y se utilizó el análisis de regresión para determinar la forma del polinomio que se aviene con los resultados. Los gráficos de algunos de estos valores calculados para L se muestran en las figuras 4 a 9 con $S_r = 0,80$ y $T_{sl} = 1100^\circ C$.

20. El mejor ajuste polinómico resultó ser el de la forma:

$$L = a_0 + a_1 p + a_2 T_p + a_3 D + a_4 p T_p + a_5 p^2 \quad (23)$$

Si ZW es la pérdida de zinc en la escoria por



unidad de entrada de zinc, como porcentaje en peso, la ecuación para ZW tiene la forma:

$$ZW = a_0 + F(a_1 p + a_2 T_p + a_3 + a_4 p T_p + a_5 p^2) \text{ donde } F = 1/D \quad (24)$$

Los valores típicos para las constantes, con $Sr = 0,80$ y $T_{sl} = 1300^\circ C$, se obtienen en la ecuación 25 siguiente:

$$ZW = 125.5 + F(263.8p - 0.1721T_p + 0.237T_p p - 908.3p^2 - 54.32) \quad (25)$$

Con L exacto hasta $\pm 0,001$, ZW es exacto hasta aproximadamente 0,1% absoluto.

10. (d) Coefficiente de combustión del carbón

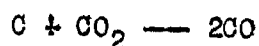
La variable p , en las ecuaciones anteriores para ZW, no es en sí un factor independiente, sino que es representativa del coeficiente de combustión del carbón por unidad de aire. Esto depende de los factores:

- 15. (a) la proporción de CO y de CO₂ producidos en la zona de combustión y de fusión (Zona I)
- (b) la cantidad de reacción gasificadora de carbón en la zona de equilibrio (Zona II).

En el estado actual de nuestro conocimiento, no pueden formularse ecuaciones matemáticas exactas para la primera condición, Sin embargo, se conocen ecuaciones para el coeficiente de gasificación del carbón y se dispone de



valores para las constantes cinéticas. Para el caso, en que el combustible carbonoso es coque metalúrgico se ha demostrado que el coeficiente de la reacción



5. puede expresarse por la ecuación general

$$R = K_1 P CO_2 / [1 + K_2 P CO + K_3 P CO_2] \quad (26)$$

10. donde R es el coeficiente, en libras-moles por minuto y por presión atmosférica, por libra de carbón. Richards y Tandy han demostrado que el coeficiente es independiente de la velocidad del gas (sobre cierta velocidad máxima) y que la ecuación del coeficiente puede simplificarse, con poca pérdida de exactitud, hasta

$$R = K_1 P CO_2 / [1 + K_2 P CO] \quad (27)$$

15. donde los valores de K_1 y K_2 se obtienen de:

$$K_1 = 3.56 \times 10^3 \exp(-4.24 \times 10^4 / RT_k) \quad (28)$$

$$K_2 = 3.35 \times 10^{-8} \exp(4.68 \times 10^4 / RT_k) \quad (29)$$

donde T_k es la temperatura absoluta.

20. Estos valores son para el coque en polvo y el valor de K_1 para el terrón es aproximadamente la mitad de este valor:

$$\log K_1 = 3.250 - 0.921 \times 10^4 (1/T_k) \quad (30)$$

$$\log K_2 = 7.475 + 1.036 \times 10^4 (1/T_k) \quad (31)$$

342619



Estos valores de K_1 y K_2 se obtuyeron a partir de los datos experimentales.

En una franja de la zona de equilibrio de dx pies de espesor y A pies cuadrados de superficie, el peso de carbón es de $100A dx / (2,222 D + 3,444)$ libras, y de ahí que, para un coeficiente de soplo de V pies cúbicos por minuto, la ecuación diferencial para p sea dada por

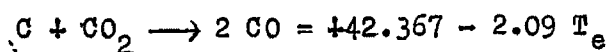
$$dp/dx = - (2.48 \times 10^4 \text{ R.A.}) / ((1 + 0.645D)V) \quad (32)$$

10. donde R se obtiene de la ecuación 26 y x se mide hacia abajo del horno.

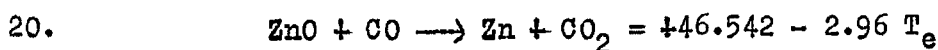
A medida que p decrece hacia abajo del horno, los valores de z y T_e deben cambiar también para mantener el equilibrio químico y térmico. Para el mantenimiento del equilibrio térmico debe valer la ecuación siguiente:

$$(dp/dx)H_1 + (dz/dx) H_2 + (dT_e/dx) (H_g + H_s) = 0 \quad (33)$$

donde H_1 es el calor de la reacción



H_2 es el calor de la reacción



y H_g y H_s son la capacidad térmica del gas y la del sólido

342619



(por átomo de oxígeno en el soplo).

Para el mantenimiento del equilibrio químico deben valer las ecuaciones (1) y (2). La diferenciación y la substitución dan

$$\begin{aligned} 5. \quad & (dT_e/dx)(2385.4/(T_e+273.3)^2 - 1.471/(T_e+273.3)) \\ & = (dz/dx)(1/z+1/(z-p) + 1/(1+2p-z) - 1/(2.881+p+z)) \\ & - dp/dx (1/(z-p) + 1/(2.881+p+z) + 2/(1+2p-z)) \end{aligned} \quad (34)$$

10. Para mantener un equilibrio de masa para el zinc, con circulación en contracorriente, debe existir la siguiente relación:

$$dz/dk = dZ/dx \quad (35)$$

Utilizando las ecuaciones 33, 34 y 35 pueden calcularse los valores de dz/dx , $d T_e/dx$ y dZ/dx a partir de dp/dx .

15. Las condiciones iniciales para estas ecuaciones diferenciales son los valores T_e , p , z , Z y S en la parte superior de la zona de equilibrio, que son los calculados en la determinación de zw . La condición final es $x = 1_e$, donde 1_e es la longitud de la zona de equilibrio,

20. Para valores positivos de p , un método semejante al empleado para la zona de precalentamiento de la carga es adecuado para la solución de estas ecuaciones diferenciales. Sin embargo, para valores negativos de p , el coeficiente de convergencia es muy lento y se ha hallado una gran mejora



si, para cada paso en x (Δx), las ecuaciones se resuelven empleando la adaptación de Gills de las ecuaciones de Runge-Kutta. Para ser consistentes, este método se utilizó en todos los casos.

5. Dado que el valor de p en la parte superior de la zona de equilibrio (p_T) es la variable que ha de predecirse, se eligieron valores de p_T que dieran un trazado factorial de p en el fondo de la zona de equilibrio (p_B). Para cada valor de p_B se obtuvieron valores
10. de p_T para un trazado factorial de T_p y D . Esto evidentemente requirió cierto grado de tanteo, pues, aunque p_T era la condición inicial para la solución p_B era la variable que se estaba ajustando a un valor de mira. Esto resultó particularmente difícil en los valores negativos
15. de p_T cuando pequeños cambios en p_T produjeron grandes cambios en p_B . La relación entre p_T y D fué semejante a la relación entre p_T y T_p , salvo que el cambio de p_T con D es demasiado pequeño para manifestarse claramente en una gráfica.
20. Puede verse que la forma de la relación entre p_T y p_B es asintótica; es decir,
cuando $p_B \rightarrow \text{infinito}$ $p_T \rightarrow$ y cuando $p_B \rightarrow D \cdot -0,5$, p_T tiende a una constante dependiente de T_p y (-0,5 es el valor mínimo posible de p_B y corresponde a combustión
25. a CO_2 puro). Las curvas se ajustan de la mejor manera mediante polinomios que contengan términos de la forma



T_p , D, pB y $1/(pB + 0,5)$ y el análisis de regresión mostró que se obtenía un buen ajuste con una ecuación de la forma:

$$5. \quad pT = a_0 + a_1 pB + a_2 / (pB + 0.5) + a_3 T_p + a_4 pB^2 + a_5 / (pB + 0.5)^2 + a_6 T_p pB + a_7 T_p / (pB + 0.5) + a_8 D \quad (36)$$

Los valores típicos de estas constantes son dados por la ecuación:

$$10. \quad pT = 0.248 + 0.619 pB - 0.156 / (pB + 0.5) + 2.21 * 10^{-4} T_p + 2.78 pB^2 + 1.31 * 10^{-2} / (pB + 0.5)^2 - 9.32 * 10^{-4} T_p pB - 5.94 * 10^{-5} / (pB + 0.5) - 2.03 * 10^{-2} D \quad (37)$$

Estas constantes son para $l = 14$ pies, $A/V = 0,0165$ minutos-pie⁻¹, $S_r = 1,00$ y $T_{sl} = 1100^{\circ} C$. La relación entre pT , T_p y D es de la forma:

$$pT = a_0 + a_1 T_p + a_2 D \quad (38)$$

15. y se asumirá que la relación entre pB , T_p y D es también de esta forma, Substituyendo esta relación en la ecuación 35 y expandiendo mediante la expansión binómica, se obtiene la ecuación:

$$pT = b_0 + b_1 T_p + b_2 (1/F) + b_3 T_p^2 + b_4 (1/F)^2 + b_5 T_p (1/F) \quad (39)$$

20. en la que $D = 1/F$ y pT es equivalente a p en la ecuación 23. (La ecuación para predecir la pérdida de zinc en la escoria.)



342619

LA FUNCION DE APROVECHAMIENTO

La función de aprovechamiento que ha de usarse es un función grosera a base de las entradas de material bruto y de las salidas de producto. No incluye cargos

- 5. por gastos generales, salarios, energía ni servicios técnicos. Unicamente concierne a los dos productos principales, o sea el zinc y el plomo, aunque puede ser necesario, en una fecha ulterior, refinar la función para incluir componentes secundarios, como el cobre, el cadmio
- 10. y los metales preciosos. No se dará la derivación completa de esta función, sino sólo la forma final, que es:

$$\begin{aligned}
 PF = & 3.764 * 10^{-4} D(p + 1) \left[(L_1 E * 10^{-2} + PL_2 R * 10^{-2} \right. \\
 & - EL_6 * 10^{-2} - L_8 P(p + R) * 10^{-2} - 100M/Zs) \\
 & \left. - zw (L_1 E * 10^{-4} + L_6 * 10^{-2} - L_6 E * 10^{-4}) \right] \\
 15. & - 10^2 C/D(100 - f) \qquad \qquad \qquad (40)
 \end{aligned}$$

donde

PF es el beneficio en libras esterlinas por hora y por unidad de coeficiente de soplo

E = eficiencia de condensación, %

- 20. (es probable que esta constante debería ser renovada periódicamente (por ejemplo, cada semana), ya que se la puede calcular a base de mediciones apropiadas; sería muy sencillo calcular E diariamente, por ejemplo, y luego en períodos más largos, semanalmente, por ejemplo,



342619

tomar un valor total y remozar correspondientemente la memoria del computador)

- R = recuperación del plomo en barras, %
- pp = pérdida de plomo en la escoria y zinc colado
5. Zs = % de contenido de zinc del aglomerado
- zw = % de la admisión de zinc perdida en la escoria
- D = relación del zinc al carbón en la carga (toneladas por tonelada) = $1/F$
- f = % de cenizas en el coque
10. L_1 = valor de zinc producido, £/tonelada de zinc
- L_2 = valor de plomo producido, £/tonelada de plomo
- L_6 = coste del zinc en el aglomerado, £/tonelada de zinc
- L_8 = coste del plomo en el aglomerado, £/tonelada de plomo
15. M = coste de la aglomeración, £/tonelada de aglomerado
- C = coste del coque, £/tonelada de coque
- (p + 1) = carbón quemado, moles/átomo de oxígeno en el soplo.

20. Esta fórmula puede simplificarse así:

$$PF = (p+1) \left[\frac{\bar{A} - \bar{B}zw}{F} - \bar{C} \right] \quad (41)$$

- donde \bar{A} , \bar{B} y \bar{C} son constantes que cambian a intervalos infrecuentes. La optimización se efectúa prediciendo,
25. en el futuro, los valores de p y zw y por tanto de PF para diversos niveles de F y T_p , utilizando las ecuacio-

nes 23 y 38, en las cuales los coeficientes se renoran constantemente empleando los datos de la planta (1).

Se utiliza una técnica de trepamiento en colina para determinar los niveles de $D + T_p$ que dan el valor máximo para el promedio de cuatro valores de PF predichos en diferentes tiempos del futuro. Esta optimización está sujeta a ciertas restricciones tanto en el nivel de las variables independientes como en el de la pérdida de zinc en la escoria.

10.

DINAMIZACION DEL MODELO

Para la predicción exacta del rendimiento del horno, las ecuaciones predictoras deben incluir términos que permitan el comportamiento dinámico de la planta. Incluir todos los valores pasados individuales de las variables en la planta conduciría a un sistema computados muy extenso, por lo que se usan promedios pesados de términos variables independientes. Al predecir el valor de un término dependiente, no se emplean explícitamente los valores previos de este término dependiente, es decir, se predicen los valores reales, no los cambios de valor. Aunque en algunos casos la predicción del cambio puede proporcionar mayor exactitud, implica la necesidad de sistemas computadores muy incrementados, para predecir y optimizar en el futuro.

POOR
QUALITY

342619



342619

N O T A

Descrito el objeto del presente invento, se declaran nuevas y de propia invención las siguientes reivindicaciones con prioridad de la solicitud de la patente británica nº 30091 del 5 de Julio de 1.966.

5. 1.- Un método para mejorar la eficiencia de operación de un alto horno de zinc y plomo, caracterizado por controlarse la proporción de zinc a carbón en la carga y la temperatura de precalentamiento del soplo conteniendo oxígeno, según los valores, continuamente fiscalizados, de:
10. I) dicha proporción de zinc a carbón ,
II) dicha temperatura de precalentamiento del soplo,
III) la proporción de materiales formadores de escoria a carbón en la carga,
IV) la composición del gas del horno,
15. V) el contenido de zinc de la escoria y
VI) la temperatura de la escoria fundida que sale del horno.



2.- Un método como se define en la reivindicación 1, caracterizado en que el control se efectua a una aprovechabilidad maximalizante de la fórmula

$$\begin{aligned}
5. \quad PF = & 3.764^{\#} 10^{-4} D(p + 1) \left[(L_1 E^{\#} 10^{-2} + PL_2 R^{\#} 10^{-2} \right. \\
& - EL_6^{\#} 10^{-2} - L_8 P(pp + R)^{\#} 10^{-2} - 100M/Zs) \\
& - zw (L_1 E^{\#} 10^{-4} + L_6^x 10^{-2} - L_6 E^{\#} 10^{-4}) \left. \right] \\
& - 10^2 C/D(100 - f)
\end{aligned}$$

donde

- 10. PF es el beneficio en libras esterlinas por hora y por unidad de coeficiente de soplo
- E eficiencia de condensación, %
(es probable que esta constante debería ser renovada periódicamente (por ejemplo, cada
- 15. semana), ya que se la puede calcular a base de mediciones apropiadas; sería muy sencillo calcular E diariamente, por ejemplo, y luego en períodos más largos, semanalmente, por ejemplo, tomar un valor total y remozar correspondientemente la memoria del computador)
- 20. R recuperación del, plomo en barras, %
- pp pérdida de plomo en la escoria y zinc colado
- Zs % de contenido de zinc del aglomerado
- zw % de la admisión de zinc pérdida en la escoria
- 25. D relación del zinc al carbón en la carga (toneladas por toneladas) = 1/F



- f % de cenizas en el coque
- L₁ valor de zinc producido, libra/tonelada de zinc
- L₂ valor de plomo producido, libra/tonelada de plomo
- L₆ coste del zinc en el aglomerado, libra/tonelada de zinc
- 5. L₈ coste del plomo en el aglomerado, libra/tonelada de plomo
- M coste de la aglomeración, libra/tonelada de aglomerado
- C coste del coque, libra/tonelada de coque
- 10. (p+1) carbón quemado, moles/átomo de oxígeno en el soplo.

3.- Un método como se define en la reivindicación 1, caracterizado en que el control se efectúa a una aprovechabilidad maximalizante de la fórmula

- 15.
$$PF = (p + 1) \left[\frac{\bar{A} - \bar{B}zw}{F - \bar{C}} \right]$$

donde \bar{A} , \bar{B} y \bar{C} son constantes que cambian a intervalos infrecuentes.

4. Un método para mejorar la eficiencia de operación de un alto horno de zinc y plomo.

- 20. Según se describe y reivindica en la presente memoria descriptiva que consta de 29 páginas foliadas y escritas a máquina por una sola de sus caras.

Madrid, a, 4 de Julio de 1.967.

- 25. p. a.

WALTER ISENE
 FIRMADO: JOSE RODRIGUEZ

342619

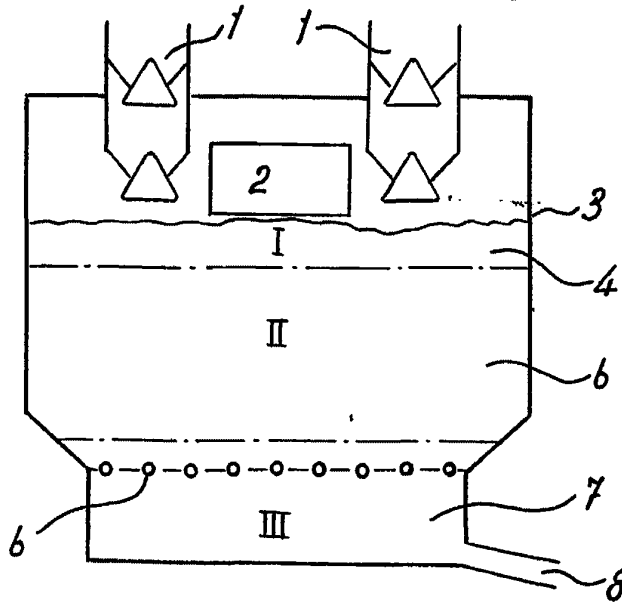


Fig. 1

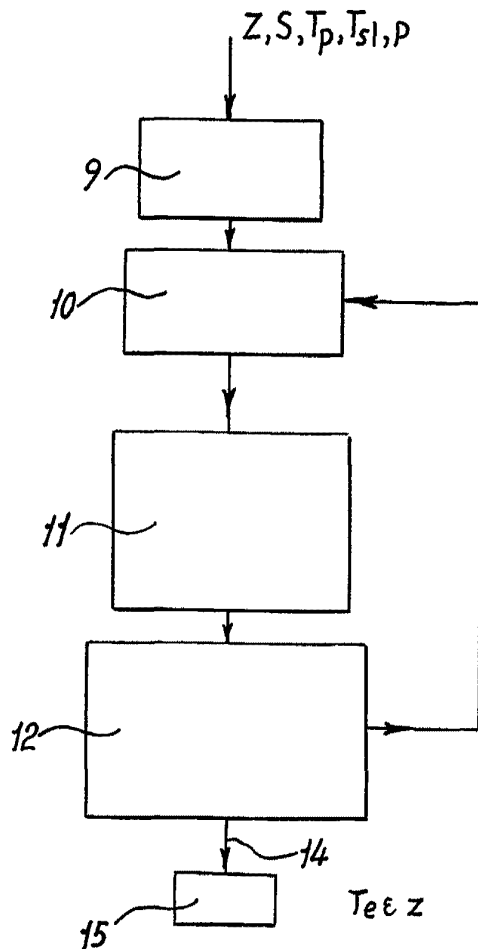


Fig. 2

Madrid, 4 de julio 1.967.

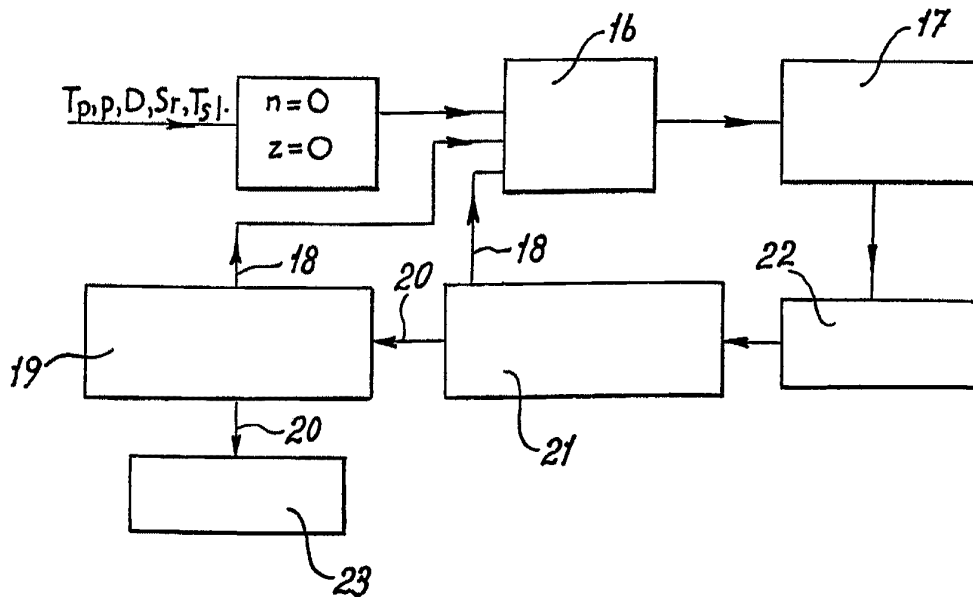
Jaime Isern

PROFESOR DE DERECHO INDUSTRIAL

342619



Fig. 3



Madrid, 4.7.67.
p.p. Jaime Isern

REPRODUCIBLE