

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 396 053**

51 Int. Cl.:

C21C 5/00 (2006.01)

C21C 5/46 (2006.01)

F27D 19/00 (2006.01)

F27D 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2002 E 02450259 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.09.2012 EP 1310573**

54 Título: **Proceso para producir un metal fundido por medio de un modelo de proceso dinámico que incluye un modelo de corrección**

30 Prioridad:

13.11.2001 AT 17842001

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

18.02.2013

73 Titular/es:

**SIEMENS VAI METALS TECHNOLOGIES GMBH
(100.0%)
Turmstrasse 44
4031 Linz, AT**

72 Inventor/es:

**RAMASEDER, NORBERT;
DIMITROV, STEFAN;
STEINS, JOHANNES;
ZHAI, YUYOU y
MÜLLER, JOHANNES**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 396 053 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Proceso para producir un metal fundido por medio de un modelo de proceso dinámico que incluye un modelo de corrección.

5 La invención se refiere a un proceso para producir un metal fundido en una planta metalúrgica, principalmente para refinar un metal fundido, preferentemente para elaborar acero, como por ejemplo acero aleado inoxidable o acero afinado; tal proceso se basa en tecnología de métodos numéricos que transcurre según un modelo de proceso y que controla la planta metalúrgica.

10 Para la producción industrial de acero existe desde hace mucho una necesidad de un método que haga posible conducir el proceso de una manera óptima y económica. La invención se refiere, por lo tanto, principalmente a un proceso para producir acero refinando una cantidad predeterminada de arrabio fundido que contiene, además de los elementos usuales, opcionalmente elementos de aleación necesarios para la producción de diferentes calidades, como por ejemplo cromo y níquel.

15 Al descarburar un metal fundido, como un arrabio fundido con oxígeno, para un equilibrio entre metal, carbono y oxígeno, se proporciona a una temperatura determinada y a una presión determinada. Este equilibrio determina la extensión hasta cuál contenido de carbono puede retirarse del material fundido sin que simultáneamente se oxiden componentes metálicos como, por ejemplo cromo y también hierro. En esta operación de refinado o afino, puede afectarse la actividad termodinámica dentro del baño de metal fundido así como el equilibrio que se establece entre los elementos contenidos en el baño de fusión y la atmósfera gaseosa que va desarrollándose, mediante la mezcla de oxígeno con gas inerte (como gas de dilución).

20 De la AT 339 938 B puede deducirse un programa para optimizar la descarburación de una masa de metal fundido que se fundamenta en el conocimiento de la temperatura inicial, la composición química inicial del material pre-fundido y el peso, en cuyo caso pueden obtenerse valores de referencia en condiciones económicamente favorables. Como diluyente se selecciona en tal caso cualquier gas que se comporte inerte en la descarburación. Usando las informaciones iniciales se calculan con el programa varios coeficientes que definen las actividades termodinámicas de cada elemento presente en el baño de fundición como función de la composición del baño. Usando estos coeficientes el programa calcula la presión parcial de monóxido de carbono en equilibrio con carbono y los diferentes elementos metálicos y óxidos. La desventaja en tal caso es que durante la descarburación no se toman en cuenta valores de la temperatura, de la composición química, etc. que van estableciéndose, de modo que los valores reales que varían continuamente no puedan tener influencia en el producto final.

30 En la patente EP 0 545 379 B1 se describe un método para refinar acero controlando la descarburación de un baño de fusión de metal predeterminado con composición química conocida y temperatura. El método tiene en tal caso los siguientes pasos de proceso:

35 - una primera red neuronal con el fin de analizar datos de entrada y de salida a partir de datos a los que pertenecen la composición, el peso y la temperatura del baño al inicio de cada período de proceso, la proporción de gases a usar entre oxígeno a gas de dilución durante período de proceso y la temperatura final alcanzada al concluir cada período de proceso, hasta que la red neuronal esté en capacidad de entregar un valor de salida esencialmente exacto, el cual representa los valores de cantidad de oxígeno que tienen que incorporarse soplando al baño con el fin de provocar que la temperatura del baño se incremente a un determinado valor de referencia de temperatura,

40 - una segunda red neuronal con el fin de analizar datos de entrada y de salida a partir de datos a los que pertenecen la composición, el peso y la temperatura del baño al inicio de cada período de proceso y la temperatura final alcanzada al concluir cada período de proceso hasta que la red neuronal esté en capacidad de entregar un valor de salida esencialmente exacto de valores de cantidad de oxígeno para disminuir el nivel de carbono de conformidad con un ajuste preseleccionado de proporciones entre oxígeno y gas de dilución al nivel de referencia preseleccionado,

45 - se toman en cuenta materiales de suplemento en las tres otras redes neuronales con el fin de calcular el contenido de carbono, la temperatura y la composición final del baño al final de la introducción por soplado de oxígeno.

50 En este caso la desventaja es que durante todo el tiempo de tratamiento no se efectúa un registro continuo ni una verificación de la plausibilidad de los valores de análisis y de temperatura alcanzados. La optimización de los procesos de este modo es difícil cuando no imposible, especialmente si se toman en cuenta conjuntamente las proporciones en la unidad de material fundido (modificación de la temperatura refractaria, modificación de la intensidad refractaria, modificación del volumen de reacción, ...).

La invención según EP 0 857 222 B1 1 se refiere a un proceso para descarburar una fundición de acero para producir aceros con alto contenido de cromo, en el cual la velocidad de descarburación se mide de manera continua

- 5 y en dependencia de los valores medidos se ajusta la cantidad del oxígeno a introducirse mediante soplado, en cuyo caso la velocidad de descarburación se determina a partir del contenido de CO y CO₂ en el gas de combustión y del flujo de gas de combustión. La medición de las composiciones de gas de combustión arriba indicadas es, sin embargo, posible, aunque relativamente inexacta. La posición de la sonda de medición en la corriente de gas de combustión tiene que ubicarse en la cercanía de la boca del crisol, por un lado, con el fin de obtener relativamente rápido la información del gas de combustión y, por otro lado, con el fin de minimizar/evitar el falseamiento de la composición de gas de combustión mediante la entrada de aire fresco en la zona de la boca del crisol. Para producir aceros aleados este proceso es menos adecuado ya que no se toma en consideración una oxidación de metal y tampoco es verificable con este proceso.
- 10 De acuerdo con la DE 33 11 232 C2 se efectúa un refinado (o afino) del metal fundido con oxígeno y un gas de dilución, en cuyo caso las cantidades de paso de gas se fijan calculando la extensión de la oxidación de metal usando valores calculados.
- 15 El proceso descrito en la DE 33 11 232 C2 es adecuado, sin embargo, para descarburar metales fundidos, aunque debido al modelo usado este proceso no es adecuado para determinar exactamente el momento en que se alcanza el punto de transición de la reacción de descarburación a la oxidación de metal. La consecuencia es una pérdida elevada de cromo por combustión y de esta manera cantidades requeridas adicionalmente de sustancias de reducción (ferrosilicio, cal) así como una resistencia reducida del convertidor.
- 20 La práctica corriente en el proceso de producción de acero – AOD (por Argon Oxygen Decarburization) es como sigue: durante una carga se realizan (especialmente en el caso de producción de acero inoxidable) mediciones (temperatura, toma de muestras para análisis químico).
- Al usar una lanza inferior, el proceso no tiene que interrumpirse para la medición (las indicaciones de temperatura se presentan inmediatamente después de sumergir la sonda de medición en el acero fundido; en el caso de una toma de muestra hay que esperar los resultados de análisis del laboratorio (aproximadamente 3 - 6 minutos)).
- 25 - Si no se usa una lanza inferior, el proceso de AOD tiene que interrumpirse. En el caso de una medición manual el valor de temperatura se presenta asimismo inmediatamente después de sumergir la sonda en el acero fundido. En el caso de una toma de muestras también hay que esperar los resultados de análisis tal como se describió anteriormente aproximadamente 3 a 6 minutos.
- 30 La desventaja de ambos métodos de medida es que la información se efectúa solo puntualmente mediante el acero fundido (temperatura, análisis químico). En el caso de la medición manual, además, en cada medición se acude a una interrupción de proceso (el convertidor tiene que cambiar de posición para la medición). Esto produce un incremento del tiempo tap to tap, con el cual están ligados: un desgaste refractario superior, una disminución en la temperatura del acero fundido (provocado por el cambio de sitio del convertidor), etc.
- Una intervención correctora en el caso de una temperatura muy alta o muy baja puede efectuarse solo después de realizada la medición.
- 35 El objetivo de la invención es, particularmente para procesos de producción que deben regularse de manera convencionalmente difícil, como por ejemplo en el proceso de AOD, determinar un proceso con el cual puede lograrse un incremento en la producción, un ahorro de energía, acortamiento del tiempo tap to tap (tiempo-ttt), optimización de las sustancias suplementarias y una vida útil de los materiales refractarios que se emplean en el proceso de producción. La invención también debe ser aplicable en la producción de aceros aleados, como por ejemplo aceros inoxidables aleados con Cr-Nr.
- 40 Este objetivo se logra según la invención mediante los pasos de proceso de la reivindicación 1:
- 45 - con el modelo de proceso, con los datos obtenidos en un momento determinado de tiempo (ti) de una variable real del proceso, como la temperatura de la fundición y/o la composición química de la fundición, mediante simulación con técnicas de cálculo, inmediatamente para el momento de tiempo de la determinación de la variable de proceso real se determina una variable de proceso para un momento de tiempo más tarde (ti + dt), preferentemente una variable final de proceso, y
- en caso de desviaciones de la variable de proceso simulada de un valor de referencia deseado, por medio del modelo de proceso con técnicas de cálculo se calculan medidas de corrección para modificar la variable real de proceso y la variable de proceso real se modifica de manera correspondiente
- 50 - después de lo cual, en un momento de tiempo más tarde (ti + dt) se repite el proceso con los datos determinados además de la variable de proceso real,

- y en tal caso la variable de proceso es la composición química o la temperatura.

De esta manera, de acuerdo con la invención, en un determinado momento de tiempo se realiza una medición en el material fundido, o bien de la temperatura, o bien de la composición química, después de lo cual gracias a un modelo de proceso se calcula un valor para un momento de tiempo más tarde con el valor medido (preferentemente en un momento de tiempo final), y en el caso de una desviación del valor, calculado aproximadamente a partir de un valor de medición, de un valor predeterminado deseado se toma una medida de corrección; esta puede realizarse naturalmente de modo inmediato o también en un momento de tiempo más tarde. Si por ejemplo resultare que la temperatura al final de una carga fuera demasiado alta, puede adoptarse de manera correctiva la adición de chatarra refrigerante, lo cual puede efectuarse inmediatamente para el tiempo de medición o, en caso de ser más ventajoso para el proceso por motivos metalúrgicos, también puede efectuarse un poco más tarde.

La realización del método de la invención puede realizarse tanto mejor cuanto más rápido estén disponibles los datos de medición después de realizar la medición. Tanto para la medición de temperatura como también para el análisis químico se conocen métodos de medición (WO 97/22859, GB 2136830 y WO 02/48661) con los cuales los datos medidos están disponibles casi inmediatamente después de la medición. De este modo, los valores de temperatura de la fundición están disponibles después de ms y un valor de temperatura determinado a partir de varias mediciones está disponible después de aproximadamente un s. Los valores del análisis químico están disponibles, por ejemplo, después de 0,05 a 0,1 s y un valor promediado a partir de aproximadamente 10 mediciones está disponible después de 5 a 10 s.

De modo conveniente, por medio del modelo de proceso, los datos recolectados en un tiempo determinado (t_i) de una variable de proceso real se verifican en su plausibilidad y se proporcionan exclusivamente datos plausibles para la simulación de la magnitud del proceso y se descartan los datos no plausibles, y en el último caso se continúa la simulación gracias a los datos plausibles determinados de último. De esta manera, a pesar de datos faltantes, por ejemplo a causa de errores de medición, etc., se logra finalizar el proceso sin retraso y se logra el objetivo del proceso.

Como consecuencia de perturbaciones pueden resultar mediciones erróneas. Tales perturbaciones son, por ejemplo, salpicaduras de escoria en los sensores de medición o un atasco de una abertura en el recipiente metalúrgico a través de la cual se observa el material fundido mediante el sensor de medición. En el último caso siempre se seguiría midiendo un estado pasado. Tales valores de medición permanentes son aceptables solo para un cierto tiempo; dicho lapso de tiempo depende del transcurso del proceso, del valor de medición y del transcurso del proceso ya realizado. Si el valor de medición permanente se considera no aceptable, es decir no plausible, es posible proceder inmediatamente a resolver el problema, por ejemplo tratar con fuego la abertura tapada, a través de la cual debe observarse el material fundido, opcionalmente limpiar una ventana, etc.

Por medio de una verificación de plausibilidad pueden eliminarse valores de medición que se encuentran por fuera de un ancho de banda predeterminado de un valor predeterminado según un desarrollo ideal del proceso, en un tiempo determinado. Este ancho de banda se mueve en el orden de magnitud de $\pm 10\%$ del valor ideal dado previamente, preferentemente $\pm 5\%$. El establecimiento del curso ideal del proceso o de un valor ideal en un tiempo determinado se efectúa a causa de valores prácticos o valores calculados. Si un nuevo valor de medición se encuentra dentro del ancho de banda, es decir si se acepta como plausible, de este último valor se adopta a su vez un desarrollo ideal del proceso debido a valores prácticos o valores calculados y la simulación continúa debido a este nuevo desarrollo del proceso, de manera que finalmente se aceptan valores de medición, que se encuentran por fuera del ancho de banda de uno de los desarrollos ideales del proceso, anteriores y dejados entre tanto, se consideran plausibles. De esta manera el sistema puede aprender por sí mismo.

Ventajosamente, para cada magnitud variable de proceso encuentra aplicación un módulo propio de modelo de proceso. Por módulo de modelo de proceso entendemos una parte terminada en sí del modelo de proceso la cual es responsable de un determinado proceso funcional, como por ejemplo de la descarbonización, la desulfuración, el cálculo de temperatura de antemano y la aleación con elementos de aleación. Sin embargo, en tanto los procesos funcionales se influyen mutuamente, los módulos de modelo de proceso están conectados entre sí para tomar en cuenta de estas influencias.

El modelo de proceso mismo o al menos un módulo del modelo de proceso está equipado, según una forma de realización preferida, con una auto-optimización inteligente. El objetivo según la invención se logra en tal caso mediante un sistema diseñado de modo inteligente, el cual da, autónomamente con base en un conocimiento previo específico, indicaciones para situaciones específicas, para conducir el proceso de una manera tan buena como sea posible. Las indicaciones dadas autónomamente se comparan de modo continuo con los datos reales y se verifican en su plausibilidad.

El conocimiento previo específico (conocimiento del proceso) se mejora en tal caso de modo autónomo, continuamente, a través del conocimiento ganado en el proceso durante la producción. Este conocimiento de

proceso que va auto-generándose se graba en una memoria de datos como nuevo conocimiento, es decir que resulta una base mejorada para mayor adaptación u optimización del proceso.

5 El método se realiza de manera conveniente de tal modo que de un procedimiento ya existente (obtenido, por ejemplo, gracias a una experiencia de años; know how) para diferentes productos, se realiza una optimización de tal manera que para el proceso se asumen cambios favorables (como reducción de O₂, optimización del curso de la temperatura del proceso a valores más bajos; reducción/optimización de cantidades de gas; acortamiento de los tiempos de proceso; ...) para los productos respectivos y se guardan en memoria. En otra consecuencia, los pasos de optimización de proceso se vuelven cada vez más ajustados. Esta operación se realiza con ayuda de redes neuronales, entre otras.

10 Para realizar el proceso de modo óptimo, la diferencia de tiempo entre dos recolecciones de datos de la magnitud real del proceso se mantiene muy pequeña, al menos por una parte de la duración del proceso; preferentemente la diferencia de tiempo es infinitesimal, es decir que la variable de proceso real se obtiene de manera continua.

15 Un modelo de proceso particularmente sencillo, con el cual pueden lograrse buenos resultados finales, se caracteriza porque como magnitudes reales de proceso se recolectan datos de la composición química del gas de combustión y la composición química de material cargado así como opcionalmente de la composición química de la escoria.

Ventajosamente, como magnitudes de proceso adicionalmente se recolectan datos de la composición química del gas de combustión y la composición química de material cargado así como opcionalmente de la composición química de la escoria.

20 Con el fin de hacer que coincidan lo más posible las magnitudes finales de proceso, que representan parámetros de calidad para el metal fundido preparado, en el modelo de proceso se optimizan ventajosamente las variables ajustables de proceso, tales como flujo, presión, temperatura y composición de gases y/o cantidades, composiciones y velocidades de carga de los materiales de suplemento.

25 El proceso de la invención se basa en un conocimiento de la situación real en determinados momentos de tiempo durante el proceso, en cuyo caso, tal como se describió con anterioridad, el conocimiento permanente de la situación real para al menos los pasos de proceso más importantes da lugar a un proceso óptimo de acuerdo con la invención. Gracias al conocimiento del estado real, es decir de las magnitudes reales del proceso, se optimizan los parámetros de proceso, como el caudal de oxígeno, el caudal de gas inerte, el momento de adición, la composición química y la cantidad de los materiales de suplemento. El conocimiento de la situación real permite arribar exactamente a los puntos objetivos; por ejemplo, solo con el conocimiento de la composición química y de la temperatura del metal fundido pueden proporcionarse los materiales y cantidades de gas, faltantes y por adicionar, de manera exacta en el tiempo, exactamente en cantidad y por análisis.

El transcurso de la fundición para producir un acero fundido especialmente para el proceso AOD transcurriría de la siguiente manera:

35 Con el modelo según la respectiva especificación de calidad del producto, se simula el desempeño estático del proceso para una variable de proceso $y = f$ (variables de control, magnitudes de proceso susceptibles de influir). La variable de proceso y^* calculada a partir de esto es un parámetro típico de calidad del producto a producirse y se desvía más o menos de la magnitud final y que se establece realmente.

40 Con una adaptación de modelo se mejora el modelo de proceso para que el desempeño del modelo coincida lo mejor posible con el desempeño real del proceso.

Por medio de un método de optimización realizado con un optimizador de procesos se hallan variables de control que conducen a un buen desempeño de proceso. Por ejemplo, en el caso de temperatura de acero fundido demasiado alta, la alimentación de oxígeno puede reducirse o el momento de tiempo de adición para la chatarra refrigerante o los elementos de aleación pueden modificarse.

45 Puesto que el modelo de proceso se basa en conocimiento incierto en un porcentaje determinado, el modelo de proceso se adapta y se modifica por medio de datos obtenidos de proceso. Esta adaptación se efectúa con la adaptación de modelo de proceso que se aplica a datos de estados de proceso pasados. El control de los resultados de proceso se efectúa verificando la plausibilidad.

50 La estructura teórica del proceso de la invención se representa de manera simplificada en las Fig. 1 y Fig. 2, y más precisamente, de manera respectiva, en forma de diagrama de bloque. Los procesos de la invención respecto de la descarburación (procesos deC), reducción, adición de materiales de aleación y refrigeración se ilustran en las figuras

3, 4, 5 y 6. Las figuras 7 y 8 muestran el curso de la temperatura y los valores de análisis químico mediante el desarrollo de proceso del ejemplo a continuación.

Como funciones de modelo de proceso se proveen las siguientes funciones:

Ecuaciones metalúrgicas

5 Algoritmos, parámetros

Establecimiento de sitios de corte internos de modelo

Estructura, desarrollo interno

Desde el inicio del modelo de proceso es necesario el conocimiento del estado de la pre-fundición y de la escoria.

10 El análisis inicial, el análisis de los materiales suplementarios y las cantidades de gases incorporadas son exactamente determinables son dificultades y se encuentran disponibles todo el tiempo. El conocimiento de la temperatura del acero fundido, la composición de gas de combustión y el análisis del acero fundido se basa en registros momentáneos, realizados mediante un sistema de medición de temperatura y de análisis para el metal fundido el cual trabaja de manera continua, tal como esto se efectúa, por ejemplo, según la WO 97/22859 o la WO 02/48661.

15 Este conocimiento permite primero optimizar y completar los modelos existentes. El modelo AOD concebido según la invención, por ejemplo, responde por los cálculos y se ha estructurado de tal manera que después de conocer el estado real los parámetros de modelo de proceso se adecúan/se modifican de tal modo que los valores de referencia pretendidos se alcance realmente. Con este procedimiento se logra que se reduzca el FF-consumo, las cantidades de caudal se optimizan y de esta manera se reducen y se acorta el tiempo ttt. Además, la cantidad de materiales suplementarios se optimiza mediante una estrategia dirigida de aplicación.

20

Descripción detallada del modelo:

25 De acuerdo con un convertidor de AOD representado en la Fig. 1 se suministran oxígeno y un gas de dilución (gas inerte) tanto mediante una lanza superior 2 como también a través de toberas 3, que están provistas por debajo del nivel de acero fundido 4 en el convertidor 1, incorporados en su interior 5. El convertidor 1 está puesto de modo basculante, como en el caso de los convertidores de las acerías, lo cual no se representa de forma más detallada. El convertidor 1 está equipado además con un equipo 6 para la medición de temperatura del acero fundido 7 así como un equipo 8 para determinar del análisis químico del acero fundido 7. Adicionalmente, con los equipos de medida 9 y 10 pueden establecerse las cantidades de caudal de los gases introducidos a través de la lanza superior 2 y las toberas 3. El gas de combustión que sale del convertidor 1 también se analiza mediante un equipo 11 respecto de su composición química; el equipo de análisis 11 está provisto en la chimenea del gas de combustión que no se representa con mayor detalle.

30

35 Antes de iniciar el proceso se ajustan el peso, el análisis químico y la temperatura del acero fundido 7 cargado en el convertidor 1. También se determinan: el peso, la composición química y la temperatura de las escorias 12 que reposan sobre el material pre-fundido. También se conocen el peso, la composición química y la temperatura a incorporar de forma planeada.

Las indicaciones sobre las calidades del acero y el estado de colada contienen todos los valores límite y objetivo de los elementos del acero en un momento de tiempo de colada así como también la temperatura de colada.

Para el cálculo de modelo se recolectan ventajosamente los siguientes datos como magnitudes de proceso reales:

1. Toberas 3: cantidades de caudal para Ar, N₂, O₂, aire, CH₄ o C_nH_m (Nm³/h) = f (t)
- 40 2. Lanza superior 2: cantidades de caudal para Ar, N₂, O₂ = f (t)
3. Posición de la lanza superior 2 = f (t)
4. Sustancias de adición: tipo, composición química, velocidad, peso, temperatura = f (t)
5. Análisis químico de acero fundido 7 = función (t)
- 35 6. Temperatura acero fundido 7 = Función (t)

7. Posición de convertidor (grado de la inclinación) = f (t)

8. Gas de combustión: composición química, temperatura, cantidad = f (t)

La determinación de la temperatura y de la concentración de un elemento en el acero fundido se efectúa por medio de las siguientes definiciones:

5 Concentración (referencia, elemento x en el acero fundido) [%; t] = concentración (real, elemento x en el acero fundido) [%; t-Dt] + f (cantidad de gas (Nl/min), tipo de gas, peso de aplicación de acero fundido (t_0), peso de los materiales suplementarios, vertido, temp; t-Dt). Concentración (real, elemento x en el material suplementario) [%]

En la presente:

f (...t), g (...t) significan funciones dependientes de tiempo

10 t.... significa tiempo

referencia significa valor de referencia

real significa valor real

materiales suplementarios significan elementos de la aleación, chatarra refrigerante, formador de escoria,

1. Concentración de un elemento x en el acero fundido:

15 Concentración total (referencia, elemento x) = 100 %

Concentración (Elemento x) (%; t) = f (Cantidad de gas (Nl/min), tipo de gas, peso de aplicación de acero fundido (t_0), peso de materiales suplementarios, vertido, temp; t-Dt). Concentración (real, elemento x material suplementario) [%]

2. Determinación de la temperatura del acero fundido:

20 Temperatura de referencia (t) = temperatura real (t-Dt) + g (oxidación, cantidad de gas (Nl/min), pérdidas de calor, pérdidas de gas de combustión; t-Dt)

t-Dt la medición se presenta en el momento de tiempo t-Dt, en cuyo caso Dt es el paso de tiempo entre dos pasos de cálculo. Cuan menor se elija Dt, tanto más exacto puede lograrse la curva de referencia.

25 Para intervalos de tiempo cortos se requiere que los datos de medición describan el estado actual en el acero fundido.

Durante el cálculo de modelo se calculan cíclicamente los valores de los elementos (%) y de la temperatura (°C) para el acero, la escoria, el gas de combustión (componentes, total) y el balance de calor en el momento de tiempo i después del inicio de modelo.

Se balancean: la fase de gas, el acero y la escoria.

30 En tal caso, para balancear se ajusta una suma total (kg o mol) para cada elemento / cada sustancia en cada segmento de tiempo.

La ecuación de balanceo para cada elemento x es:

$$\text{Peso } x^{i+1} = \text{peso } x^i + \sum \text{materiales de adición} \cdot x_k \cdot \text{vertido}_k - \text{peso } X_{\text{oxidación}} - \text{peso } X_{\text{vap}}$$

35 x_k significa la fracción de x en el material de adición k

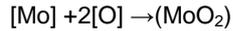
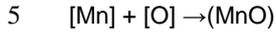
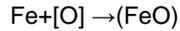
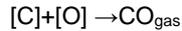
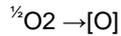
Vertido_k..... significa vertido del material suplementario k

Peso $X_{\text{oxidación}}$ significa peso del material x, el cual se oxida en el segmento de tiempo Dt

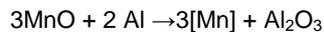
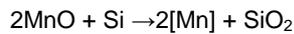
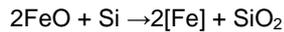
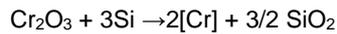
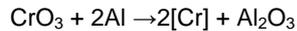
Peso X_{vap} significa pérdida por evaporación en el segmento de tiempo Dt

Los productos de oxidación y reducción han de tomarse en consideración en la fase de escoria y en la fase gaseosa.

Reacciones importante (estas se depositan en un banco de datos) son:



10 El transcurso del proceso de iteración y de cálculo está representado en las Figs. 3 y 4 por medio de un plan lógico, en cuyo caso la Fig. 3 es determinante para el proceso de descarbonación y la Fig. 4 para el proceso de reducción. Las siguientes formas de cálculo sirven de fundamento para estos procesos.



Cálculo de aleación y de refrigeración

1. Materiales de aleación

20 El cálculo de aleación persigue esencialmente dos objetivos:

a) Ajuste del análisis

b) Consecución del peso de colada

A partir del estado de fundición previa (análisis químico de acero fundido, peso, temperatura) en el análisis de colada dirigido se calculan todas las adiciones necesarias.

25 Para elegir las sustancias de aleación para su presupuesto se decide según los siguientes criterios:

- optimización de costes, es decir minimizar costes para cada elemento de aleación

- adición de C >2% permitida solo en los pasos 1, 2a, 2b

- Adición de Cr: en el paso 1 y 2a (50%), 2b (50%), reducción (ajuste fino)

- Adición de Ni: en el paso 2c (90%), adición restante en el paso 3 (30%), paso 4 (20%), reducción (20%)

30 - Adición de Mn: en el paso 2b (100% HCMn) o en el paso 2b (50%) y el resto con SiMn en las fases de reducción (si está disponible)

- Para establecer la masa se calcula una adición neutral más con análisis de colada.

Se efectúa un desplazamiento del momento de tiempo de la adición de materiales de aleación entre los diferentes pasos con el fin de mantener la temperatura deseada.

El plan lógico para el cálculo de aleación puede deducirse de la Fig. 5.

2. Refrigeración

- 5 Para la refrigeración se usan de manera prioritaria FeNi o Ni, cal y/o chatarra.

Consumo de cal/dolomita

El consumo total de cal y dolomita depende de la entrada de Si y la entrada (input) de SiO₂ durante todo el proceso:

$$\text{SiO}_2 \text{ (kg/t)} = \sum \text{SiO}_{2j} \text{ (\%)} + j_{\text{adición}} + 2,14 * (\sum \text{Si}\% * j_{\text{adición}} * + \text{Si}_{\text{Red}})$$

El plan lógico para el cálculo del consumo de cal/dolomita se representa en la Fig. 6.

- 10 Preferentemente se emplean las siguientes funciones de modelo para el modelo de proceso:

+ cálculo de nivel de baño

+ modelo de carga

+ cálculo térmico de modelo

+ cálculo de análisis

- 15 + modelo de nitrógeno

+ modelo deC

+ modelo deC (armonización fina colada)

+ modelo de reducción

+ modelo deS

- 20 + modelo de material suplementario neutral

+ modelo de aleación

+ modelo de colada

+ modelo de temperatura

+ función de modelo de control T

- 25 + modelo Reblow

Los resultados del cálculo de modelo se comparan continuamente con los valores reales de la temperatura de acero fundido, temperatura de escoria, análisis del acero fundido y la medición de gas de combustión.

Ejemplo:

- 30 Por medio del siguiente transcurso del proceso se ilustra la producción de la calidad AISI 304 a partir del acero crudo empleado hasta el producto terminado. Las Figs. 7 y 8 muestran el curso de la modificación de temperatura así como el curso del cambio del análisis químico (para C, Mn, Cr, Ni) en el caso de este desarrollo de proceso.

Modelo de proceso AOD en combinación con una medición continua de temperatura y análisis

Transcurso del proceso para AISI 304:

ES 2 396 053 T3

1. Cargar (sin adición de formadores de escoria)
2. Medición de temperatura (manualmente o con sistema de medición T continuo)
3. 1. Etapa de soplado con lanza superior
4. durante toda la 1. Etapa de soplado medición continua de la temperatura y del análisis de baño de acero
- 5 5. 2. Etapa de soplado a 4. Etapa de soplado sin lanza superior
6. durante toda la 2. Etapa de soplado a la 4. Etapa de soplado medición continua de la temperatura y del análisis de baños de acero
7. 5. Etapa de soplado
8. durante toda la 5. Etapa de soplado medición continua de la temperatura y del análisis de baño de acero
- 10 9. fase de reducción y de desulfuración
10. durante toda la fase de reducción y desulfuración medición continua de la temperatura y del análisis de baño de acero
11. en el caso de alcanzar el análisis objetivo y la temperatura objetivo. Colada con corrección fina eventual de Si mediante adición de agente de aleación a la cuchara durante la colada

15 Tabla 1: esquema de soplado AISI 304

	Lanza de O ₂ [Nm ³ /min]	Toberas de O ₂ [Nm ³ /min]	Lanza de N ₂ [Nm ³ /min]	Lanza de Ar [Nm ³ /min]	Contenido meta de C [%]	Temperatura meta [°C]
Paso 1	100	30	15	-	0,6	1710
Paso 2	-	60	20	-	0,4	1740
Paso 3	-	45	45	-	0,2	1760
Paso 4	-	20	60	-	0,08	1750
Paso 5	-	12	48	-	0,04	1750
Reducción y desulfuración	-	-	-	45	-	1665

Eficiencia de remoción de carbono (CRE por Carbon removal efficiency):	
CRE paso 1:	En promedio 78%
CRE total:	En promedio 68%

1. Carga (paso 1):

20 Peso de aplicación: acero 86,5 t
Escoria: 0,6 t

Análisis	
C	1,8
Si	0,14
Mn	0,59
P	0,023
S	0,024
Cr	19,03
Ni	7,14

Temperatura en el tiempo t=0: 1538°C
Consumos medios: véase tabla 1

ES 2 396 053 T3

Adición: dolomita 1500 kg
cal 2000 kg
FeNi 1500 kg

- 5 Temperatura después del paso 1: 1709°C
Tiempo de tratamiento paso 1: 11,25 minutos

2. Etapa de descarburación 2 (paso 2)

Análisis después del paso 1

C	0,507
Si	0,0
Mn	0,49
P	0,023
S	0,022
Cr	18,39
Ni	7,91

- 10 Consumos medios: véase tabla 1
adiciones: cal 1000 kg
FeNi 1000 kg
Temperatura después del paso 2: 1743°C
Tiempo de tratamiento paso 2: 4,83 minutos

3. Etapa de descarburación 3 (paso 3)

- 15 Análisis después del paso 2

C	0,347
Si	0
Mn	0,475
P	0,023
S	0,022
Cr	17,77
Ni	8,34

- 20 Consumos de medios: véase tabla 1
Adición: cal 1500 kg
Temperatura después del paso 3: 1760°C
Tiempo de tratamiento paso 3: 5,66 minutos

4. Etapa de descarburación 4 (paso 4)

Análisis después del paso 3

C	0,199
Si	0
Mn	0,457
P	0,023
S	0,021
Cr	17,426
Ni	8,395

- 25 Consumos de medios: véase tabla 1
Adición: cal 480 kg
Material triturado (Shredder) 1000 kg
Temperatura después del paso 4: 1749°C
Tiempo de tratamiento paso 4: 7,92 minutos

5. Etapa de descarburación 5 (paso 5)

ES 2 396 053 T3

Análisis después del paso 4

C	0,119
Si	0
Mn	0,462
P	0,0238
S	0,0209
Cr	17,197
Ni	8,431

Consumos de medios: véase tabla 1

Adición:

- 5 Temperatura después del paso 5: 1752°C
Tiempo de tratamiento paso 5: 16,08 minutos

6. Fase de reducción y de desulfuración

Análisis después del paso 5

C	0.0397
Si	0
Mn	0,453
P	0,024
S	0,0208
Cr	16,853
Ni	8,479

- 10 Consumos de medios: véase tabla 1

Adición: CaF₂ 710 kg

SiMn 900 kg

FeSi 1602 kg

Nimet 90 kg

- 15 Agente refrigerante ss 500 kg

Temperatura después de la fase de reducción y desulfuración: 1660°C

7. Colada

Análisis

C	0,0558
Si	0,5933
Mn	1,2516
P	0,0251
S	0,0003
Cr	18,485
Ni	8,0788

- 20 Temperatura de colada: 1660°C

Peso de colada: 90,5 t

Escoria: 9,478 t

- 25 Los cursos de las curvas de los diagramas representados en las Figs. 7 y 9 permiten reconocer que predomina una completa coincidencia con las curvas de referencia. Esto significa que el transcurso del proceso sigue el transcurso de proceso ideal predeterminado y los valores metas con solo pequeñas desviaciones que, si llegaren a estar presentes, pueden originarse solo por las inexactitudes en la medición. Si esto es posible por la intervención inmediata prevista de acuerdo con la invención en el proceso, gracias a los resultados de medición y a la simulación que se construye con base en éstos, es decir el presupuesto de los resultados a esperar, deben esperarse desviaciones de los valores metas.

- 30 De manera complementaria a esto, se adiciona el efecto de aprendizaje para este modelo dinámico gracias a los desarrollos ya realizados del proceso.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Proceso de AOD para producir un metal fundido de acero aleado, inoxidable o acero afinado; tal proceso se fundamenta en tecnología de métodos numéricos que transcurre según un modelo de proceso y que controla la planta metalúrgica, en cuyo caso el modelo de proceso describe el desempeño para al menos un parámetro variable de proceso entre una magnitud real de proceso, que es la temperatura del metal fundido y/o la composición química del metal fundido, una variable de control y una magnitud final de proceso, y el proceso comprende los siguientes pasos:
- 10 - con el modelo de proceso con datos de una variable de proceso real recolectados en un tiempo determinado (t_i), mediante simulación con tecnologías de cálculo inmediatamente en el momento de tiempo de la recolección de la magnitud real de proceso se averigua una variable de proceso para un momento de tiempo más tarde ($t_i + dt$), y
- en desviaciones de la variable de proceso simulada de un valor de referencia deseado, por medio del modelo de proceso se calculan medidas de corrección para modificar la variable real de proceso con tecnología de cálculo y la variable real de proceso se modifica de manera correspondiente,
- 15 - después, en un momento de tiempo más tarde ($t_i + dt$) se repite el proceso con datos recolectados además de la variable real de proceso.
- 20 2. Proceso según la reivindicación 1, caracterizado porque por medio del modelo de proceso los datos de una variable real de proceso recolectados en un tiempo determinado (t_i) se verifican en plausibilidad y se proporcionan exclusivamente datos plausibles para la simulación de la variables de proceso y los datos no plausibles se descartan, y en este último caso se continúa la simulación con base en los datos plausibles determinados de último.
3. Proceso según la reivindicación 2, caracterizado porque para la simulación se recurre a datos que como plausibles se encuentran dentro de un ancho de banda de $\pm 10\%$ de un transcurso ideal del proceso de producción, el cual se basa en valores experimentales o en valores calculados.
- 25 4. Proceso según la reivindicación 3, caracterizado porque como datos plausibles para la simulación de la variable de proceso se recurre a aquellos que se encuentran dentro de un ancho de banda de $\pm 5\%$.
5. Proceso según una o varias de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizado porque a partir de un valor reconocido como plausible, el cual se desvía sin embargo del curso ideal vigente de último del proceso de producción, se produce un nuevo curso ideal y sirve de fundamento para otro proceso.
- 30 6. Proceso según una o varias de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque cada variable de proceso encuentra aplicación un propio módulo de modelo de proceso.
7. Proceso según una o varias de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque el modelo de proceso o al menos un módulo del modelo de proceso está o están equipado(s) con auto-optimización inteligente, usando por ejemplo una red neuronal.
- 35 8. Proceso según una o varias de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque al menos por una parte de la duración de proceso la diferencia de tiempo entre dos recolecciones consecutivas de datos de una variable real de proceso es muy pequeña.
9. Proceso según la reivindicación 8, caracterizado porque al menos por una parte de la duración del proceso la diferencia de tiempo entre dos recolecciones consecutivas de datos de una variable real de proceso es preferentemente infinitesimal.
- 40 10. Proceso según una o varias de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque como variables reales de proceso se recolectan datos de la composición química del gas de combustión y de la composición química del material cargado.
11. Proceso según una o varias de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque como magnitudes reales de proceso se recolectan datos de la composición química de la escoria.
- 45 12. Proceso según una o varias de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado porque en el modelo de proceso se optimizan variables de proceso ajustables.

13. Proceso según la reivindicación 12, caracterizado porque son variables de proceso ajustables el flujo, la presión, la temperatura y la composición de gases y/o cantidades, composiciones y velocidades de carga de materiales suplementarios.

5 14. Proceso según una o varias de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado porque una variable de proceso es una variable de proceso para un momento de tiempo más tarde ($t_i + dt$).

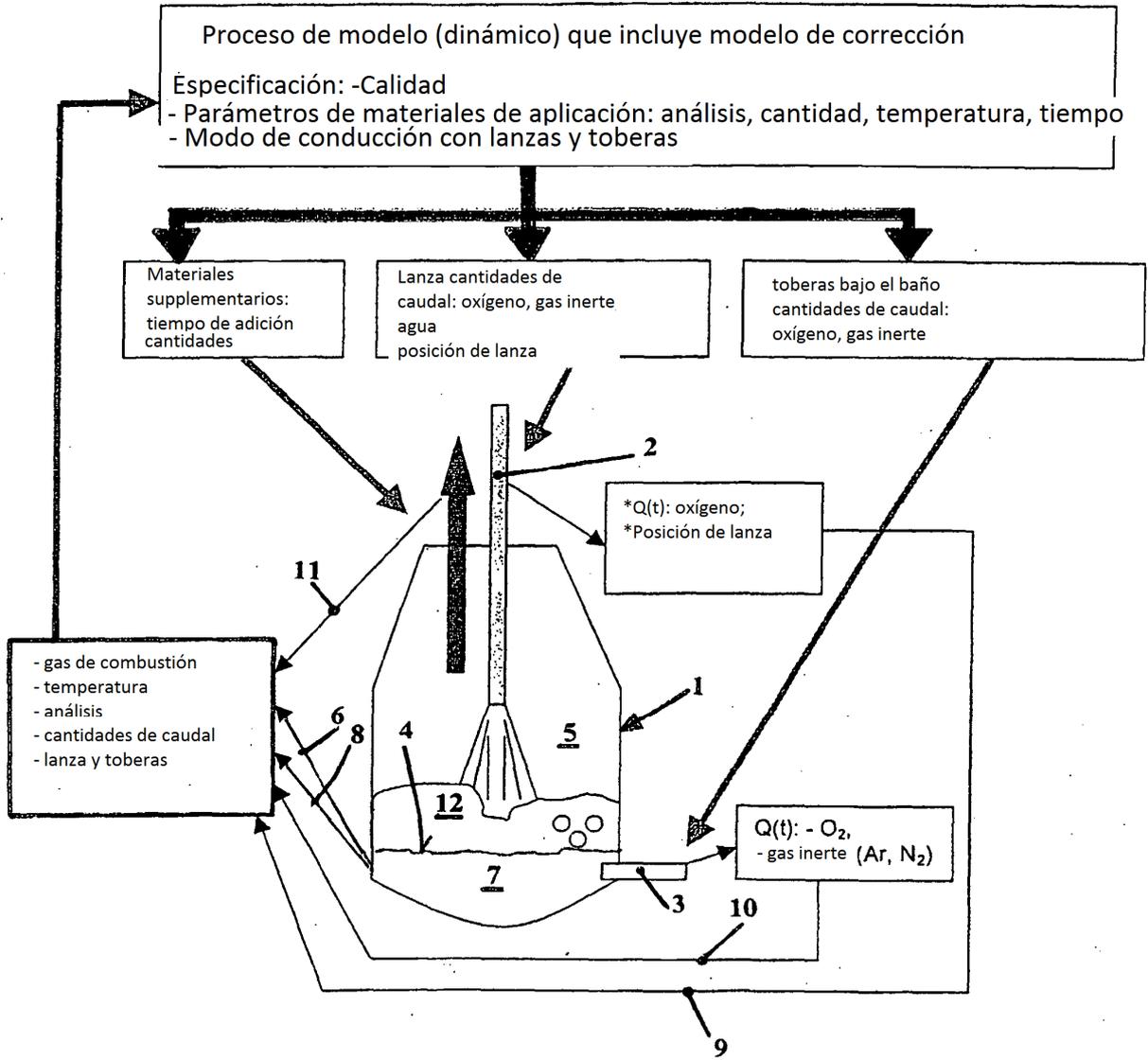


Fig. 1

Fig. 2

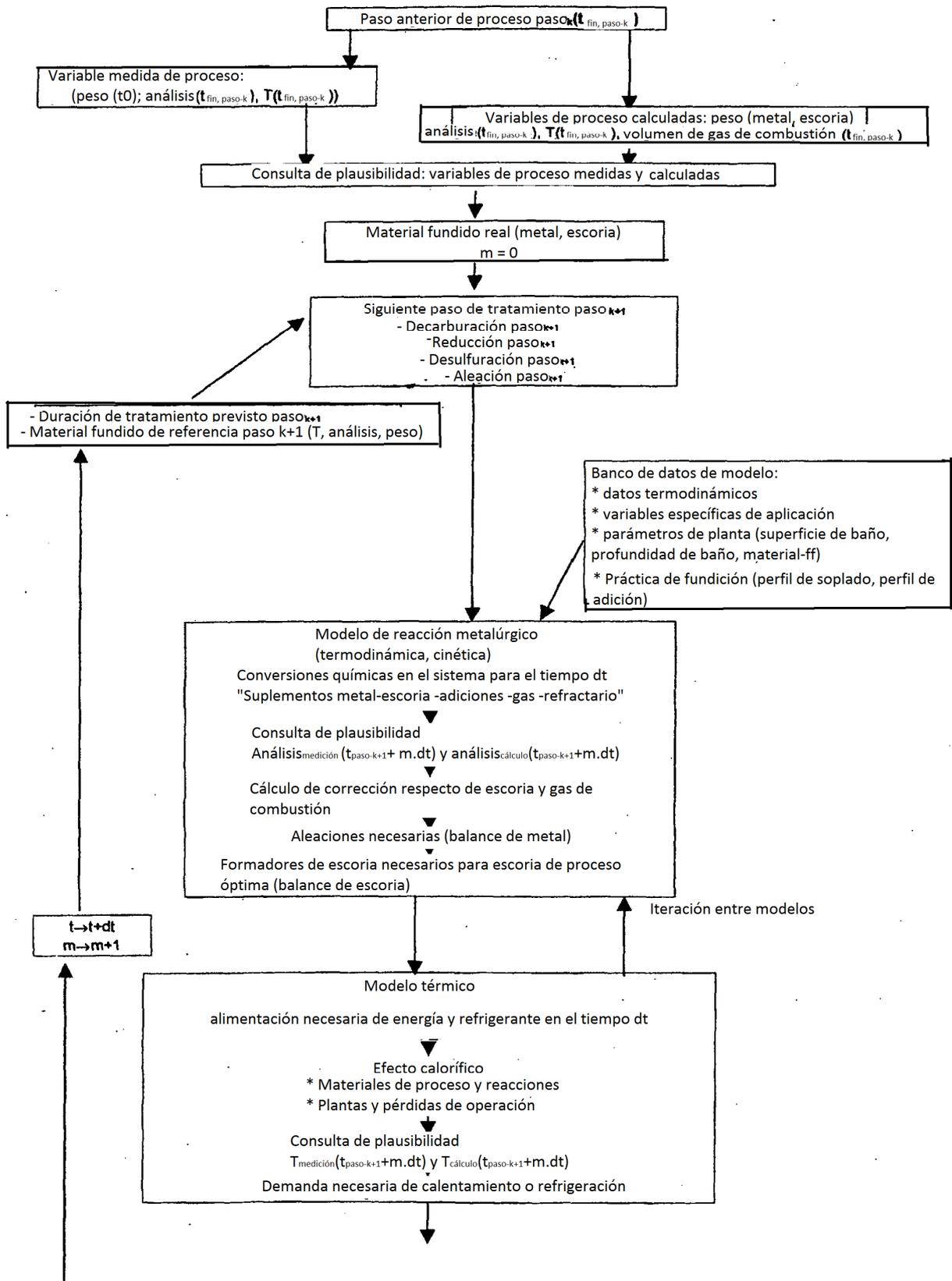
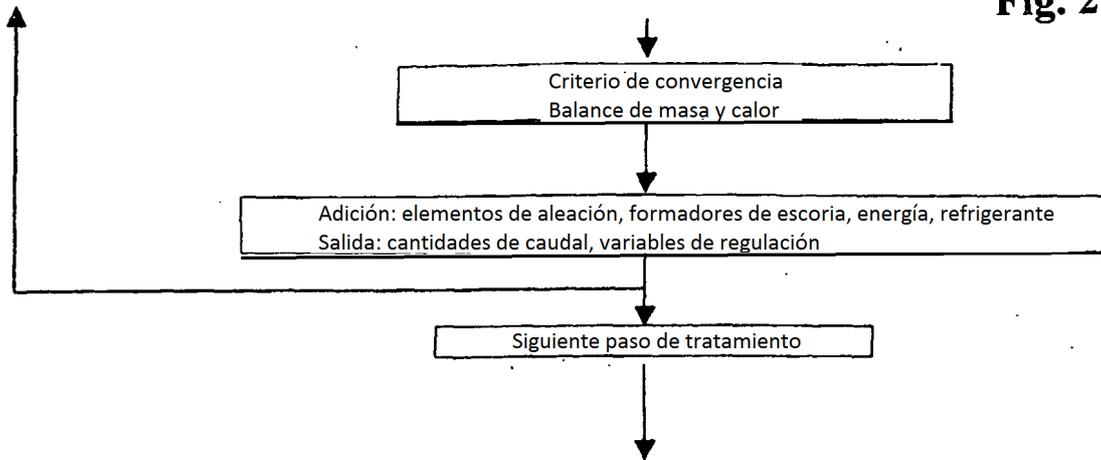


Fig. 2



LEYENDA:

Paso k paso de proceso k ($k \in \mathbb{N}$ (1,2,3,...))

m multiplicador que se incrementa en 1 después de cada paso de tiempo dt ($m \in \mathbb{N}$ (1,2,3...))

dt paso de tiempo

$T_{medición}$ temperatura medida continuamente

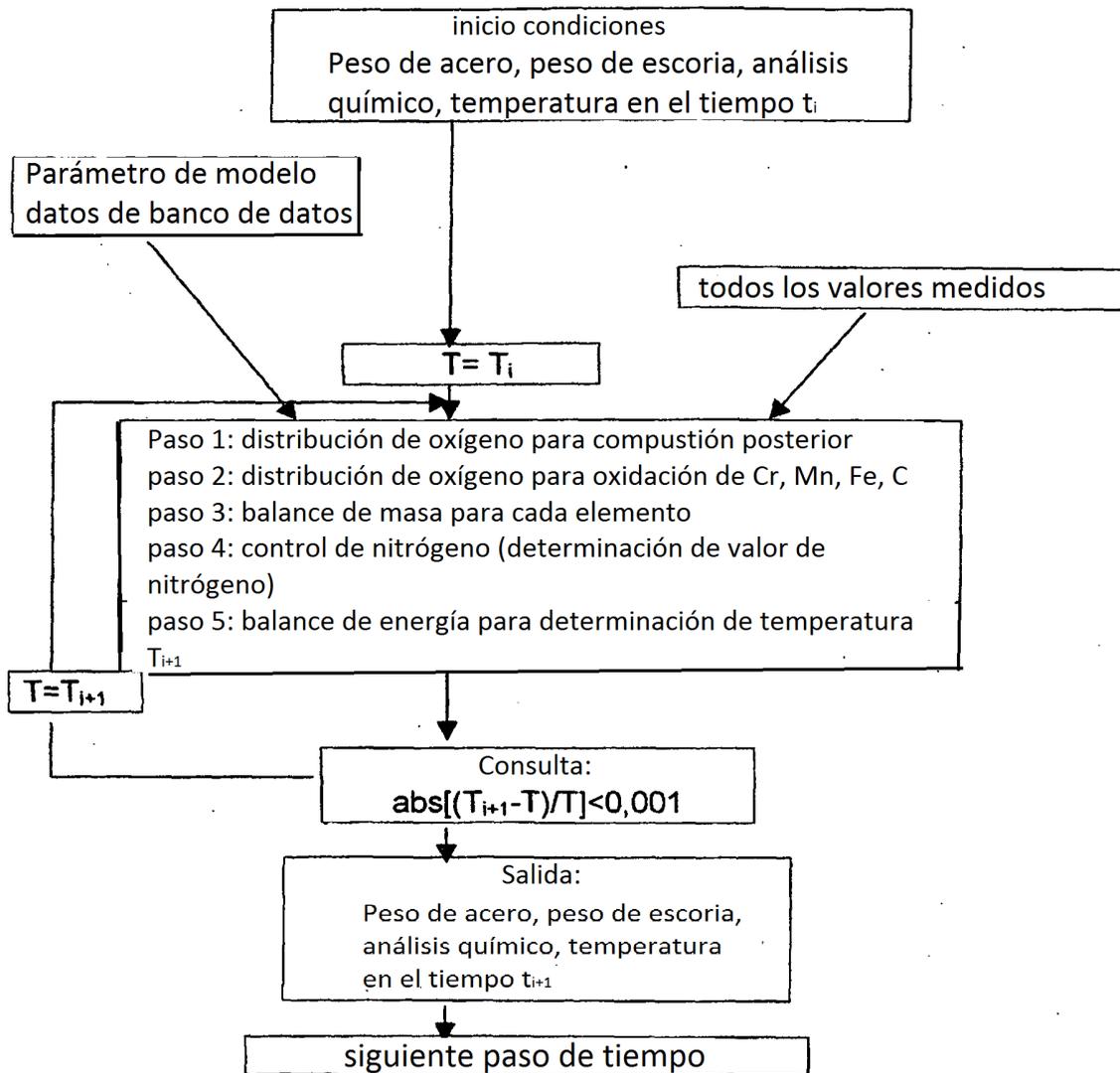
$Análisis_{medición}$ análisis medido continuamente

$t_{fin, paso-k}$ tiempo final de paso k

Fig. 3

Proceso de-C

t..... tiempo
 T..... temperatura
 i, i+1..... pasos de tiempo



Proceso de reducción Fig.4

t..... tiempo
 T..... temperatura
 i, i+1... pasos de tiempo

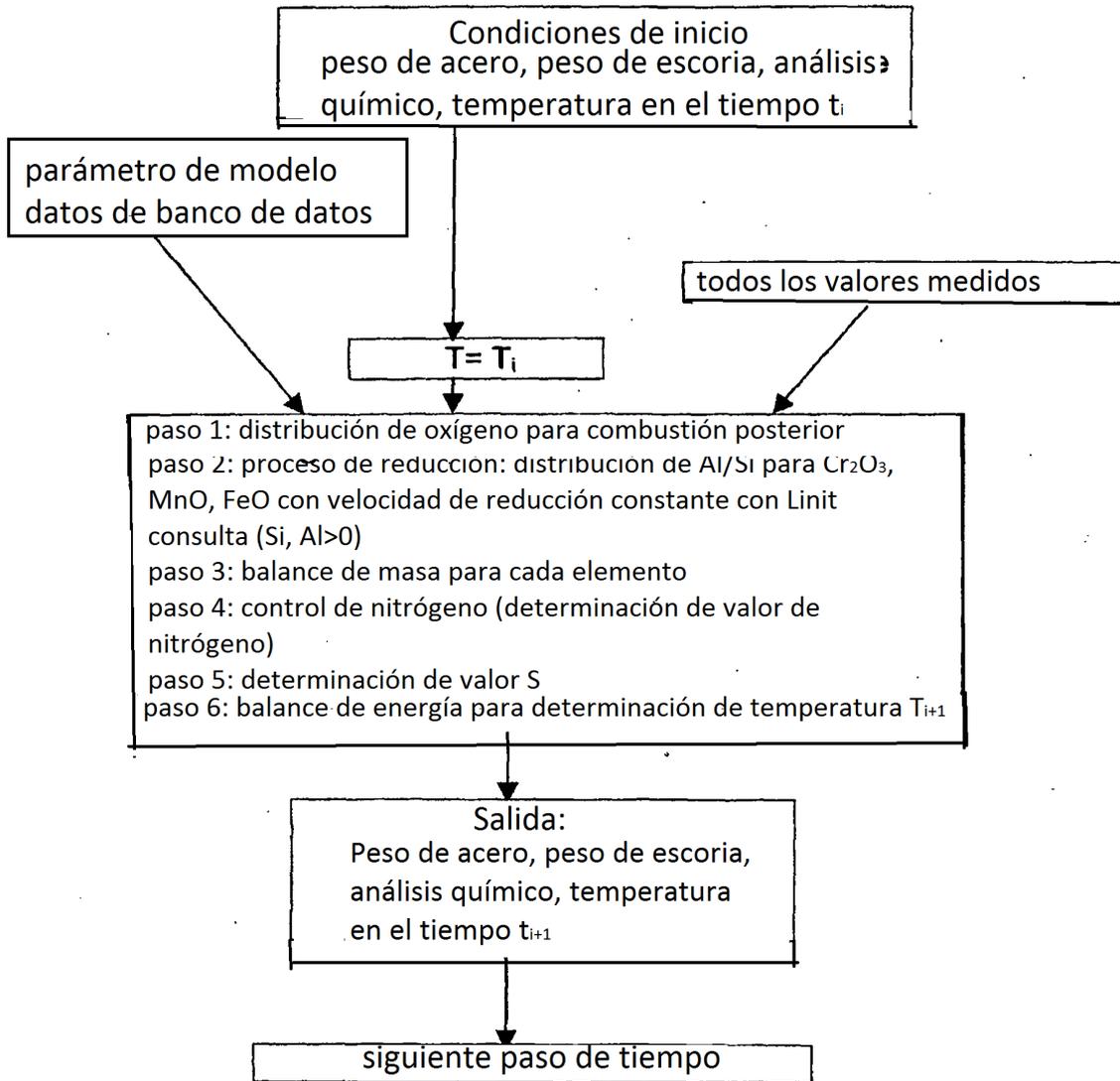


Fig. 5

Adición de material suplementario

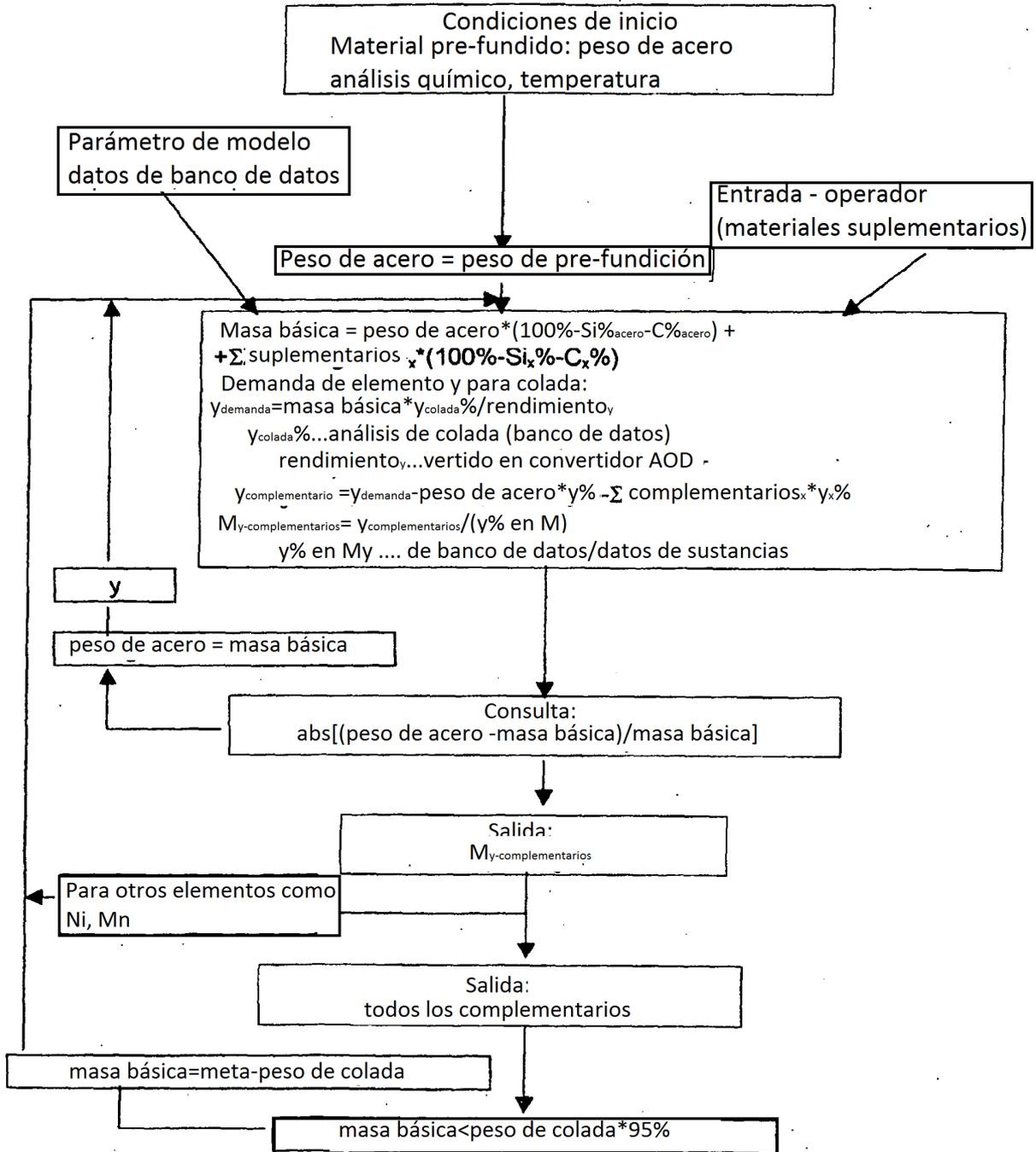


Fig. 6

Refrigeración

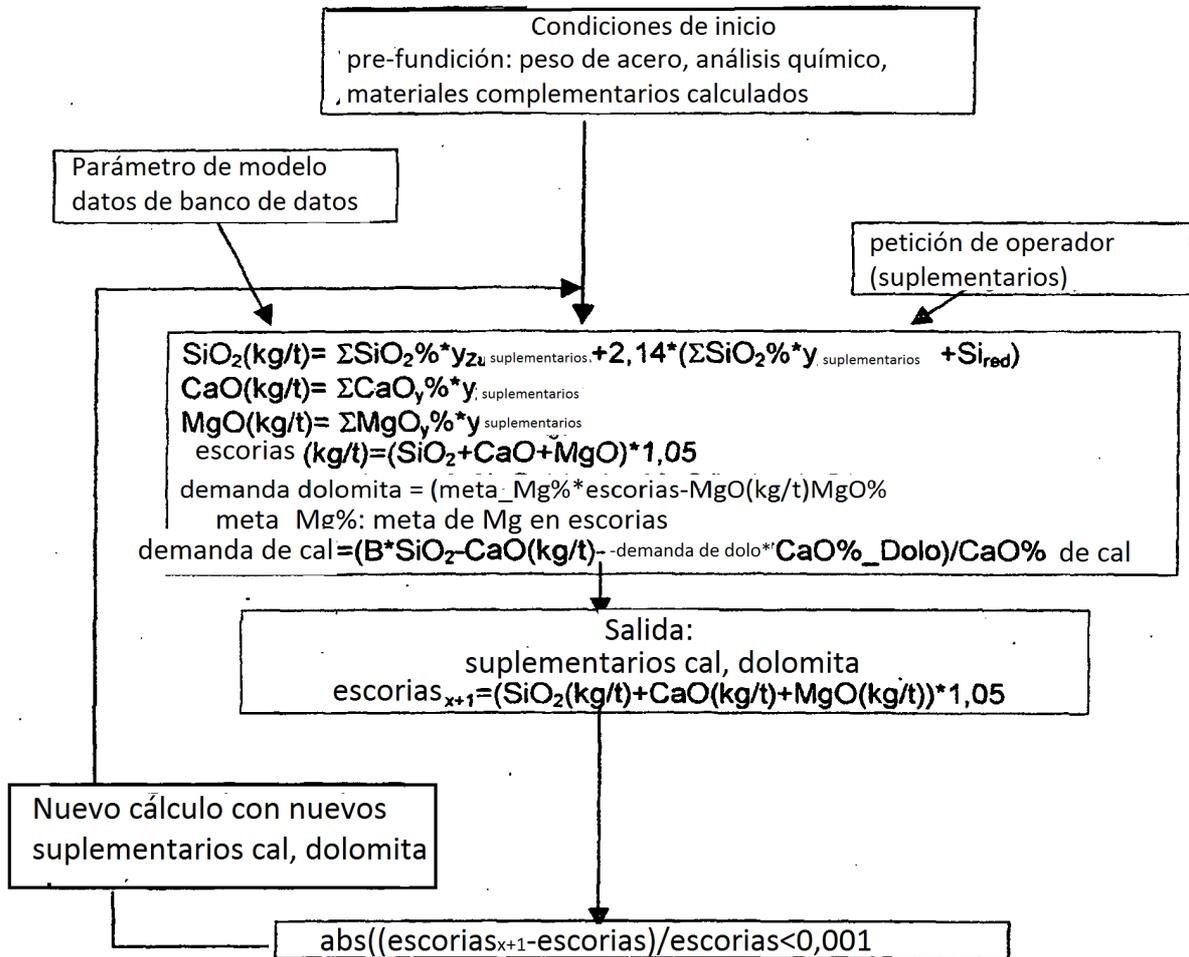


Fig. 7

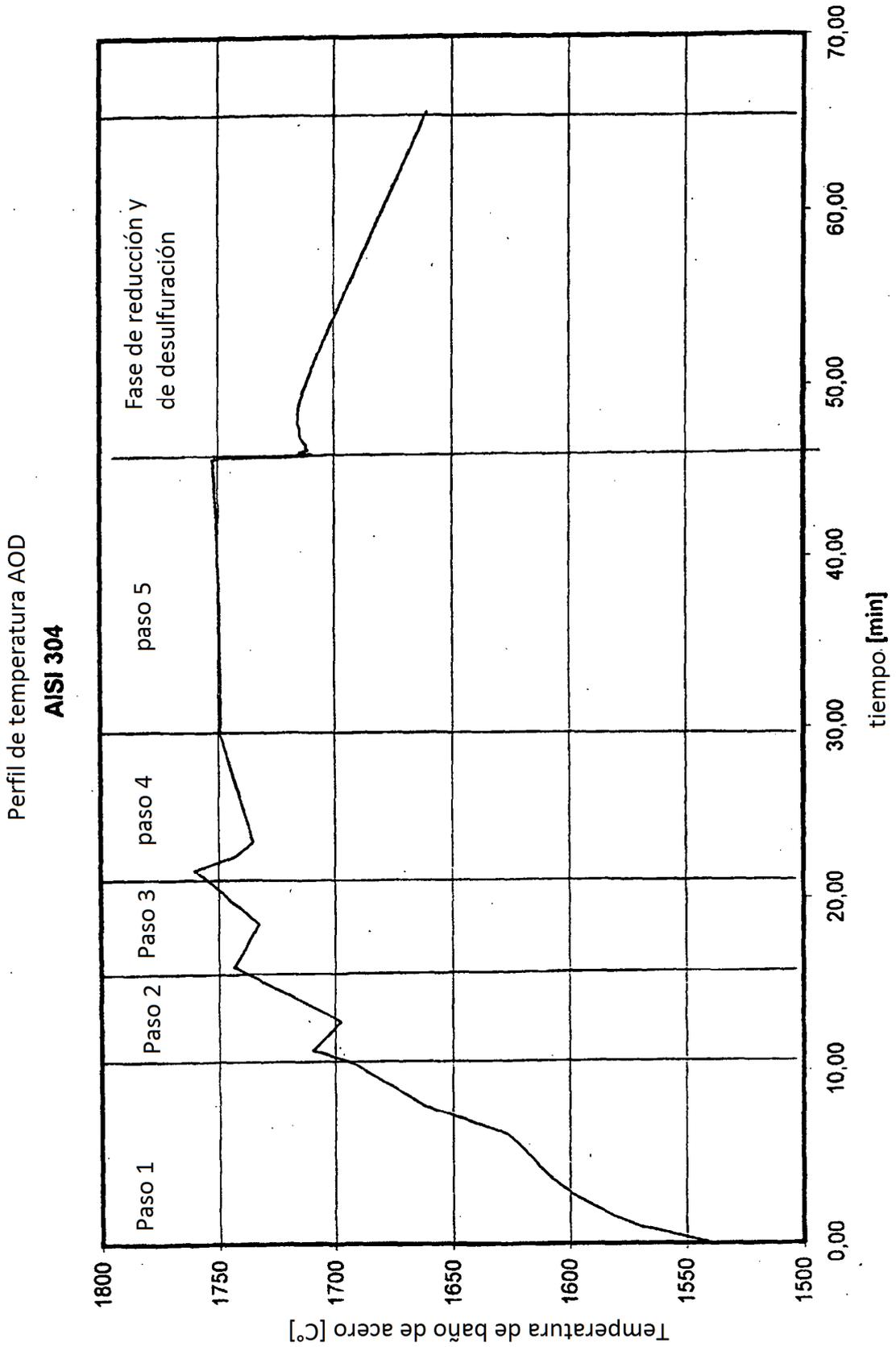


Fig. 8

