

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 653 943**

51 Int. Cl.:

C21C 5/35 (2006.01)
C21C 5/46 (2006.01)
C21C 5/52 (2006.01)
F27D 21/02 (2006.01)
F27D 19/00 (2006.01)
C21C 5/30 (2006.01)
G05B 19/418 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.12.2013** **PCT/EP2013/075907**
87 Fecha y número de publicación internacional: **26.06.2014** **WO14095447**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.12.2013** **E 13811143 (0)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2017** **EP 2935633**

54 Título: **Método y dispositivo para predecir, controlar y/o regular procesos de acería**

30 Prioridad:

21.12.2012 DE 102012224184

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.02.2018

73 Titular/es:

SMS GROUP GMBH (100.0%)
Eduard-Schloemann-Strasse 4
40237 Düsseldorf, DE

72 Inventor/es:

UEBBER, NORBERT;
SCHLÜTER, JOCHEN;
ODENTHAL, HANS-JÜRGEN;
MORIK, KATHARINA y
BLOM, HENDRIK

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 653 943 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

Método y dispositivo para predecir, controlar y/o regular procesos de acería

Área técnica

5 La presente invención hace referencia a un método para predecir, controlar y/o regular procesos de acería, como por ejemplo procesos del convertidor y de hornos de arco eléctrico, los cuales se prevén para producir aceros fundidos a partir de materiales de utilización y materiales precursores.

Estado del arte

10 En la transformación de materiales de uso y materiales precursores para la producción de acero en procesos de acería, como por ejemplo en procesos del convertidor y de hornos de arco eléctrico, son producidos aceros fundidos que deben cumplir con determinadas exigencias.

15 El proceso de transformación principal en los procesos del convertidor consiste en la reducción del contenido de carbono, inicialmente elevado, a valores reducidos. Lo mencionado tiene lugar usualmente con la ayuda de oxígeno soplado mediante lanzas o boquillas en la cuba metalúrgica. Junto con ese objetivo esencial de reducir el contenido de carbono dentro de la masa fundida metálica, existen otras variables - objetivo esenciales, a saber, un contenido de fósforo o de manganeso determinado que debe ser alcanzado, así como determinadas temperaturas de fusión en la colada, donde preferentemente al mismo tiempo se desea un contenido optimizado de óxido de hierro (FeO) en la escoria, para favorecer procesos metalúrgicos sin quemar en exceso el material de uso, así como para mantener al mínimo las pérdidas de cromo durante la descarburación.

20 Además, una finalización demasiado temprana o demasiado tardía del proceso de soplado en el proceso del convertidor puede tener consecuencias desventajosas. De este modo, en el caso de una finalización demasiado temprana del proceso de soplado se requiere un soplado final con las pérdidas de tiempo y de producción asociadas al mismo. Una finalización demasiado tardía del proceso de soplado conduce a una calcinación elevada del acero, a tiempos de espera, a una inversión de refrigerante y a un desgaste del material refractario elevado y, con ello, a una producción ineficiente.

25 Hasta ahora, el momento final de soplado, así como el momento de colada en el proceso del convertidor, se determinaba mediante modelo de cálculos estáticos o dinámicos. De este modo, los modelos de proceso correspondientes cumplen esencialmente la función de predecir parámetros de funcionamiento que no pueden medirse de forma directa, como por ejemplo la temperatura de la masa fundida metálica, así como la composición química de la masa fundida. Los cálculos de modelo dinámicos conocidos se basan en balances de masas y de energía, los cuales calculan el estado actual de la masa fundida metálica en el convertidor. En los modelos dinámicos conocidos, asimismo, mediante el comportamiento del gas de escape medido, se calcula el progreso de la descarburación y, en base a ello, se determina además la cantidad de oxígeno que debe ser soplada, así como el momento final de soplado.

35 Es conocido además el hecho de determinar el momento final de soplado, así como el momento de colada, mediante una así llamada sublanza. Para ello, al finalizar el respectivo proceso del convertidor, una sonda se introduce en la masa fundida metálica para determinar directamente la temperatura y la composición de la masa fundida, por ejemplo con respecto al contenido de carbono, al contenido de fósforo, al contenido de manganeso, etc. A través de la seguridad más elevada de la disponibilidad de los datos, obtenida de este modo, pueden utilizarse modelos marcadamente más sencillos, mejorando así la precisión de la predicción. Junto con la así llamada sublanza pueden emplearse también las así llamadas "quick bombs", es decir, sondas de inmersión no fijadas en lanzas, las cuales, en un cable con líneas de medición, son arrojadas hacia la masa fundida a través de la boca del convertidor, y las cuales, durante un período determinado, proporcionan hacia el exterior datos de medición.

45 Otro método conocido para determinar el momento final, así como para determinar el momento de colada, se realiza a través de una medición del gas de escape, donde en este caso en concreto, mediante la parte de gas de escape de monóxido de carbono, así como de dióxido de carbono, la cual modifica el avance progresivo de la descarburización, se deduce el estado de la masa fundida. Además, mediante los así llamados exposímetros, se monitorea la potencia lumínica de la llama del convertidor que disminuye al final del proceso y en base a ello se deduce el momento final de soplado. En este caso se trata de valores determinados de forma empírica, donde en caso de alcanzarse un valor por debajo de un valor de CO, CO₂ determinado o valor de radiación, se deduce entonces un contenido final de carbono o de fósforo determinado.

50 En la utilización de sustancias se considera desventajoso el hecho de que las mismas son muy costosas en cuanto a los cuidados y a la adquisición, y la determinación del momento final, a través de la utilización de las sustancias, tampoco puede ser finalmente aclarado por completo, ya que después de la determinación de la temperatura, así

como de la composición química de la masa fundida, debe estimarse aún la cantidad de oxígeno que permanece hasta alcanzar los valores predeterminados para las variables - objetivo, así como debe determinarse el tiempo de soplado. Además, el proceso de la muestra de subanzas debe ser interrumpido.

La determinación del momento final en base al monitoreo de los contenidos de gas de escape, de la potencia lumínica de la llama del convertidor y del comportamiento de oscilación de la lanza de soplado se encuentran ampliamente difundidas. Sin embargo, se emplean aquí sólo relaciones monocausales, es decir, por ejemplo la determinación de la variable -objetivo "contenido de carbono" en la masa fundida en función de las variables de influencia contenido de Co o de CO₂ en el gas de escape, o la variable -objetivo "contenido de fósforo" en la masa fundida de metal en función de la intensidad de oscilación de la lanza de soplado. De este modo, del modo usual, se utilizan aquí valores límite rígidos que no consideran una desviación de la disposición de medición, así como modificaciones del comportamiento de la instalación.

Además, no existe ninguna relación unívoca, conforme a publicaciones, entre la variable de entrada singular seleccionada y las variables - objetivo esperadas. Lo mencionado corresponde al hecho de que los estados finales de los procesos del convertidor son una sucesión de muchas variables de influencia, a saber, por ejemplo en función de los modos de desplazamiento de la lanza, de la formación de escorias reactivas, etc., y también al hecho de que la medición de las respectivas variables de entrada está sujeta a modificaciones que pueden conducir a interpretaciones erróneas. A modo de ejemplo, las líneas tubulares para la toma de muestras de los sistemas de análisis de gas de escape pueden obstruirse con el transcurso del tiempo o a través de modificaciones en el sistema de gas de escape, por ejemplo a través de diferentes posiciones del anillo de ajuste o de regulaciones de presión en el sistema de gas de escape, pueden aspirarse cantidades de aire incorrectas indefinidas, las cuales pueden alterar la relación entre el progreso de la descarburización y el contenido de gas de escape medido. Existe además un retardo notable entre la toma de muestras y el análisis, ya que los gases aún deben ser enfriados y purificados.

En el escrito de Ling-Fei Xu, Quiezau y otros "Signal spectrum endpoint predict of BOF with SVM", World Academie of Science, Engineering and Technology 62, 2010, páginas 434 y siguientes se describe además el hecho de determinar un momento final de soplado en un convertidor BOF mediante una máquina de vectores de soporte (SVM) que es un algoritmo del aprendizaje automático para la predicción numérica de valores. En este ejemplo, la determinación se efectúa mediante la potencia lumínica de la llama del convertidor.

Descripción de la invención

Partiendo del estado del arte antes mencionado, el objeto de la presente invención consiste en proporcionar un método aún más mejorado para predecir, controlar y/o regular procesos del convertidor.

Este objeto se alcanzará a través de un método con las características de la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se indican perfeccionamientos ventajosos.

De manera correspondiente, el método para predecir, controlar y/o regular procesos del convertidor comprende los pasos: monitoreo de al menos dos variables de entrada relacionadas con una variable - objetivo, determinación de la relación entre al menos dos variables de entrada y al menos una variable - objetivo mediante análisis de regresión o métodos de clasificación, y utilización de la variable - objetivo determinada para predecir, controlar y/o regular el proceso de acería.

Debido a que a partir de al menos dos variables de entrada, mediante análisis de regresión o métodos de clasificación, se determina la variable -objetivo, así como se determina la relación entre las variables de entrada y las variables - objetivo mediante análisis de regresión o métodos de clasificación, los procesos metalúrgicos correspondientes pueden ser predichos de forma más exacta, y los valores de las variables - objetivo que se predeterminan para el respectivo producto, por ejemplo la temperatura de colada y la composición química, pueden alcanzarse con mayor precisión.

Una pluralidad de variables de entrada pueden interrelacionarse también con una pluralidad de variables - objetivo, de manera que en particular, en el momento final de soplado, pueden predecirse las propiedades del producto de la masa fundida en el proceso del convertidor, por ejemplo la temperatura de colada, el contenido final de carbono, el contenido final de fósforo, el contenido de hierro de la escoria, etc.

El hecho de que dos variables de entrada se interrelacionen respectivamente con una variable - objetivo se entiende de manera que una modificación de las dos variables de entrada respectivamente permite deducir una propiedad determinada o modificación de la variable - objetivo. Por ejemplo, mediante la composición del gas de escape, así como mediante la potencia radiada de la llama del convertidor, puede determinarse el contenido final de carbono de la masa fundida. Una medición de sonido en el convertidor, en combinación con las oscilaciones de la lanza de soplado, permite deducir el contenido final de fósforo, así como el contenido de óxido de hierro en la escoria. A su

vez, la temperatura de colada puede determinarse por ejemplo mediante la temperatura del gas de escape, así como mediante la potencia perdida medida.

Preferentemente, el método se ejecuta en tiempo real, para posibilitar un control fiable de los respectivos procesos de acería en el transcurso del tiempo.

5 Preferentemente, para determinar la variable - objetivo se utilizan el método SVM (máquinas de vectores soporte). El método SVM puede utilizarse tanto para una clasificación como también para una regresión. Puesto que entre las variables de entrada mencionadas y las respectivas variables objetivo mencionadas no existen relaciones unívocas, establecidas mediante publicaciones, no es posible en este caso una formación clásica del modelo. Mediante la SVM, sin embargo, en base a las respectivas variables de entrada determinadas, puede deducirse la variable -
10 objetivo. Naturalmente, para eso es necesario que la SVM pueda recurrir a una base de datos, en base a la cual la SVM puede ejecutar el proceso de aprendizaje requerido. Para ello, de manera preferente, se realiza un procesamiento previo de las variables de entrada, el cual puede comprender una combinación de variables de entrada estáticas y dinámicas, una transformación de variables de entrada dinámicas y/o un agregado de variables de entrada dinámicas, combinadas y/o transformadas.

15 Asimismo, se considera ventajoso que el método SVM se realice de manera que después de finalizado un respectivo proceso del convertidor la temperatura de colada, así como la composición química de la masa fundida, se mida directamente y que las relaciones medidas se pongan a disposición de la SVM para mejorar aún más el proceso de aprendizaje.

20 De manera preferente, junto con las variables de entrada dinámicas, es decir, por ejemplo oscilaciones de la lanza, composiciones del gas de escape, temperatura del gas de escape, nivel acústico, temperatura del agua de refrigeración, etc., en el algoritmo SVM se utilizan también variables de entrada estáticas. Las variables de entrada estáticas mencionadas son por ejemplo la antigüedad del convertidor, la antigüedad de la lanza, la cantidad y la clase de los materiales de utilización y materiales suplementarios, etc. En principio, con el algoritmo SVM pueden interrelacionarse cuantas variables de entrada se deseen con una variable - objetivo determinada.

25 En este caso, como variables de entrada estáticas se entienden variables de entrada que se miden o valoran en momentos discretos, como por ejemplo los pesos de carga o los análisis, o sin embargo propiedades y estados discretos de los medios utilizados, así como por ejemplo un estado de desgaste de salida del convertidor y de la lanza.

30 Como variables de entrada dinámicas se entienden aquellas variables de entrada que son detectadas de forma sucesiva y esencialmente de forma continua durante el proceso del convertidor, como por ejemplo la temperatura del gas de escape, el análisis del gas de escape, mediciones de sonido y de vibración.

35 Una mejora de la precisión del método puede alcanzarse por ejemplo gracias a que, junto con las variables de entrada respectivamente medidas de forma real, se consideran también resultados de cálculos modelo en los cálculos de predicción del método SVM. La SVM requiere una base de datos lo más amplia posible, donde en base a la misma puede establecerse una relación entre las variables de entrada y las respectivas variables - objetivo. Mediante cálculos modelo que pueden establecerse entre variables de entrada y variables - objetivo, dicha base de datos puede ser mejorada.

40 Para compensar una desviación de los dispositivos de medición, por ejemplo, las variables de entrada y los datos de medición más actuales pueden ser ponderados en mayor grado. Preferentemente, datos de medición son ponderados de forma diferente para contrarrestar una modificación continua de los errores de medición de los datos de medición, preferentemente de modo correspondiente, a través de una ponderación con mayor intensidad de los datos de medición más actuales.

45 Asimismo, junto con la predicción más precisa del momento final de soplado, se considera preferente establecer también relaciones entre los valores de las variables - objetivo en la masa fundida y las respectivas variables de entrada, en base a las cuales pueden derivarse por ejemplo especificaciones para una influencia selectiva de las propiedades del proceso, por ejemplo cuánto medio de calentamiento o refrigerante debe utilizarse para alcanzar temperaturas de fusión determinadas.

50 Además, se considera ventajoso utilizar dinámicamente los datos más actuales en el transcurso del proceso, para adecuar una adaptación dinámica de las relaciones aprendidas respectivamente en la SVM a condiciones de contorno variables, por ejemplo un envejecimiento del convertidor. Además, por ejemplo los análisis del gas de escape en el proceso BOF, los cuales pueden utilizarse como variables de entrada en el método SVM, resultan perjudicados debido a acumulaciones de polvo que se incrementan dentro de los tubos de conducción de gas de escape correspondientes. A través de una adaptación continua de las relaciones aprendidas en el método SVM y a través de la utilización simultánea de otras variables de entrada, como por ejemplo la emisión de luz de llama del

convertidor, la cual igualmente se relaciona con el contenido de carbono de la masa fundida, pueden compensarse desplazamientos correspondientes de variables de entrada individuales.

En este caso, se considera ventajoso que el método SVM pueda ser operado en dimensiones elevadas, donde por tanto pueden ser consideradas muchas variables de entrada. Además, el método SVM puede aplicarse también en problemas no lineales, de manera que la determinación del respectivo momento final de soplado, así como la predicción de variables - objetivo, puede solucionarse en el convertidor de forma fiable, también en el caso de procesos esencialmente no lineales.

De manera preferente, para determinar el contenido final de carbono de la masa fundida pueden utilizarse como variables de entrada dinámicas la composición del gas de escape, así como la potencia radiada de la llama del convertidor. Para determinar el contenido de fósforo y/o el contenido de óxido de hierro en la escoria, como variables de entrada dinámicas, puede utilizarse el sonido en el convertidor, así como las oscilaciones de la lanza de soplado. Para determinar la temperatura de colada, como variables de entrada dinámicas puede utilizarse la potencia perdida representada en el sistema de refrigeración del gas de escape.

Además, el método sugerido puede usarse también para otras variables - objetivo, como por ejemplo las propiedades finales de la masa fundida metálica. Por ejemplo, la tendencia a la descarga de escoria durante el proceso BOF puede determinarse como variable - objetivo y a través del monitoreo simultáneo de las variables de medición que se encuentran aquí relacionadas, como por ejemplo medición del sonido, oscilación de las lanzas, medición del gas de escape, etc., en el caso de la determinación dinámica de criterios que requieren contramedidas, al considerar con mayor precisión condiciones de contorno, es decir por ejemplo en el contenido de silicio del arrabio, de clases de chatarra de calidad inferior, pueden alcanzarse predicciones fiables y precisas.

Breve descripción de las figuras

Otras formas de ejecución ventajosas y aspectos de la presente invención se explican en detalle a través de la siguiente descripción de la figura.

Las figuras muestran:

Figura 1: a modo de ejemplo, un diagrama de flujo esquemático del presente método.

Descripción detallada de ejemplos de ejecución

La figura 1, de manera esquemática, muestra un método que utiliza el algoritmo SVM. En este caso, se proporcionan variables de entrada estáticas en forma de variables de procesos estáticas, como por ejemplo la antigüedad del convertidor, la antigüedad de la lanza, un análisis del arrabio, etc. y son suministradas al algoritmo SVM. Además, son proporcionadas y son suministradas al algoritmo SVM también variables de entrada estáticas en forma de parámetros de funcionamiento, como por ejemplo la cantidad de refrigerante, la cantidad de chatarra, etc.

Además, también variables de entrada dinámicas en forma de variables de proceso dinámicas, como por ejemplo las oscilaciones de las lanzas, la composición del gas de escape, la temperatura del gas de escape, el nivel de ruido, la temperatura del agua de refrigeración, etc.; son suministradas al algoritmo SVM, preferentemente después de un paso de procesamiento previo, en particular después de un paso de transformación. Además, también variables de entrada dinámicas en forma de parámetros de funcionamiento dinámicos, como por ejemplo la conducción de la lanza, etc., son suministradas al algoritmo SVM, preferentemente después de un paso de procesamiento previo, en particular después de un paso de transformación.

Mediante la SVM puede realizarse una predicción sobre una variable - objetivo, por ejemplo sobre la temperatura prevista de la masa fundida, la composición de la masa fundida y/o la composición de la escoria. La distancia entre valores deseados dados de las variables - objetivo y el pronóstico de las variables - objetivo puede entenderse como una función que debe ser optimizada. Dicha función puede optimizarse mediante un procedimiento de optimización de múltiples criterios, con respecto a los parámetros de funcionamiento, como por ejemplo a una adición de medio de calentamiento o de refrigerante, a una conducción de las lanzas, así como a criterios de apagado. En base a la cantidad de los parámetros de funcionamiento determinados que han conducido hacia las soluciones pareto - óptimas, puede seleccionarse entonces una solución y de manera correspondiente son fijados nuevos parámetros de funcionamiento.

Como variables de entrada se entienden las variables medidas, así como determinadas durante y después del desarrollo del proceso. Las variables que pueden medirse de forma directa son por ejemplo temperaturas y composiciones de la masa fundida metálica medidas a través de subanzas o "quick bombs". Las variables de entrada indirectas son variables que permiten deducir una variable - objetivo, pero las cuales no se encuentran en

una relación avalada científicamente, como por ejemplo el nivel de ruido en el convertidor, vibraciones de la lanza de soplado, mediciones ópticas en la llama del convertidor, mediciones del gas de escape, etc.

5 Una variable - objetivo es una variable que indica una propiedad del producto que debe ser alcanzado mediante el proceso de acería. Para diferentes masas fundidas de metal, o para diferentes campos de aplicación, la variable - objetivo puede asumir diferentes valores. Las variables - objetivo son por ejemplo la temperatura de colada, así como las composiciones químicas de la masa fundida y de la escoria. Se prevén con frecuencia también varias variables - objetivo que deben ser optimizadas de manera que se determina una cantidad de soluciones pareto - óptimas, por ejemplo una temperatura de colada, el contenido de carbono y el contenido de fósforo de la masa fundida metálica.

10 De este modo, como parámetros de funcionamiento se entienden aquellos parámetros que se utilizan para guiar, controlar y/o regular el respectivo proceso de acería. Entre ellos figuran por ejemplo la composición de la chatarra, el contenido inicial del carbono del arrabio después de ser colocado en la cuba metalúrgica, la distribución de los materiales de utilización y los materiales suplementarios sólidos en el convertidor, el suministro de refrigerante, el suministro de energía, la duración del soplado durante el proceso del convertidor, la duración del proceso o el momento de colada, etc. De manera correspondiente, los parámetros de funcionamiento consisten en valores reales
15 mediante los cuales puede ser guiado el respectivo proceso metalúrgico o el proceso de acería, así como mediante los cuales dicho proceso puede ser influenciado.

En tanto puedan aplicarse, todas las características individuales representadas en los ejemplos de ejecución individuales pueden ser combinadas unas con otras y/o pueden ser intercambiadas, sin abandonar el área de la invención.
20

REIVINDICACIONES

1. Método para predecir, controlar y/o regular procesos de acería, el cual comprende los pasos:
 - monitoreo de al menos dos variables de entrada relacionadas con una variable - objetivo,
 - determinación de la relación entre al menos dos variables de entrada y al menos una variable - objetivo mediante análisis de regresión o métodos de clasificación, y
 - utilización de la variable - objetivo determinada para predecir, controlar y/o regular el proceso de acería, donde para determinar la variable - objetivo se utiliza el método SVM (Support Vektor Machine, máquina de vectores de soporte), y donde se ponen a disposición de la SVM tanto variables de entrada estáticas, como también variables de entrada dinámicas.
2. Método según la reivindicación 1, donde el método se ejecuta en tiempo real.
3. Método según la reivindicación 1 ó 2, donde varias variables de entrada y una cantidad menor de variables - objetivo se interrelacionan mediante el método SVM.
4. Método según una de las reivindicaciones precedentes, donde se ponen a disposición resultados de cálculos modelo del método SVM, preferentemente para expandir la base de datos.
5. Método según una de las reivindicaciones precedentes, donde un procesamiento previo de las variables de entrada se realiza de manera que se combinan variables de entrada estáticas y/o dinámicas, se transforman variables de entrada dinámicas y/o se agregan variables de entrada dinámicas, combinadas y/o transformadas.
6. Método según una de las reivindicaciones precedentes, donde datos de medición se ponderan de forma diferente para contrarrestar una modificación continua de los errores de medición de los datos de medición, preferentemente a través de una ponderación con mayor intensidad de los datos de medición más actuales.
7. Método según una de las reivindicaciones precedentes, donde para determinar el contenido final de carbono de la masa fundida, la composición de gas de escape, así como la potencia radiada de la llama del convertidor, se utilizan como variables de entrada dinámicas.
8. Método según una de las reivindicaciones precedentes, donde para determinar el contenido final de fósforo y/o el contenido de óxido de hierro en la escoria, el sonido en el convertidor, así como las vibraciones de la lanza de soplado, se utilizan como variables de entrada dinámicas.
9. Método según una de las reivindicaciones precedentes, donde para determinar la temperatura de colada se utilizan como variables de entrada dinámicas la temperatura del gas de escape, así como la potencia perdida representada en el sistema de refrigeración del gas de escape.
10. Método según una de las reivindicaciones precedentes, donde en base a la variable - objetivo determinada, mediante un método SVM, son determinados parámetros de funcionamiento.

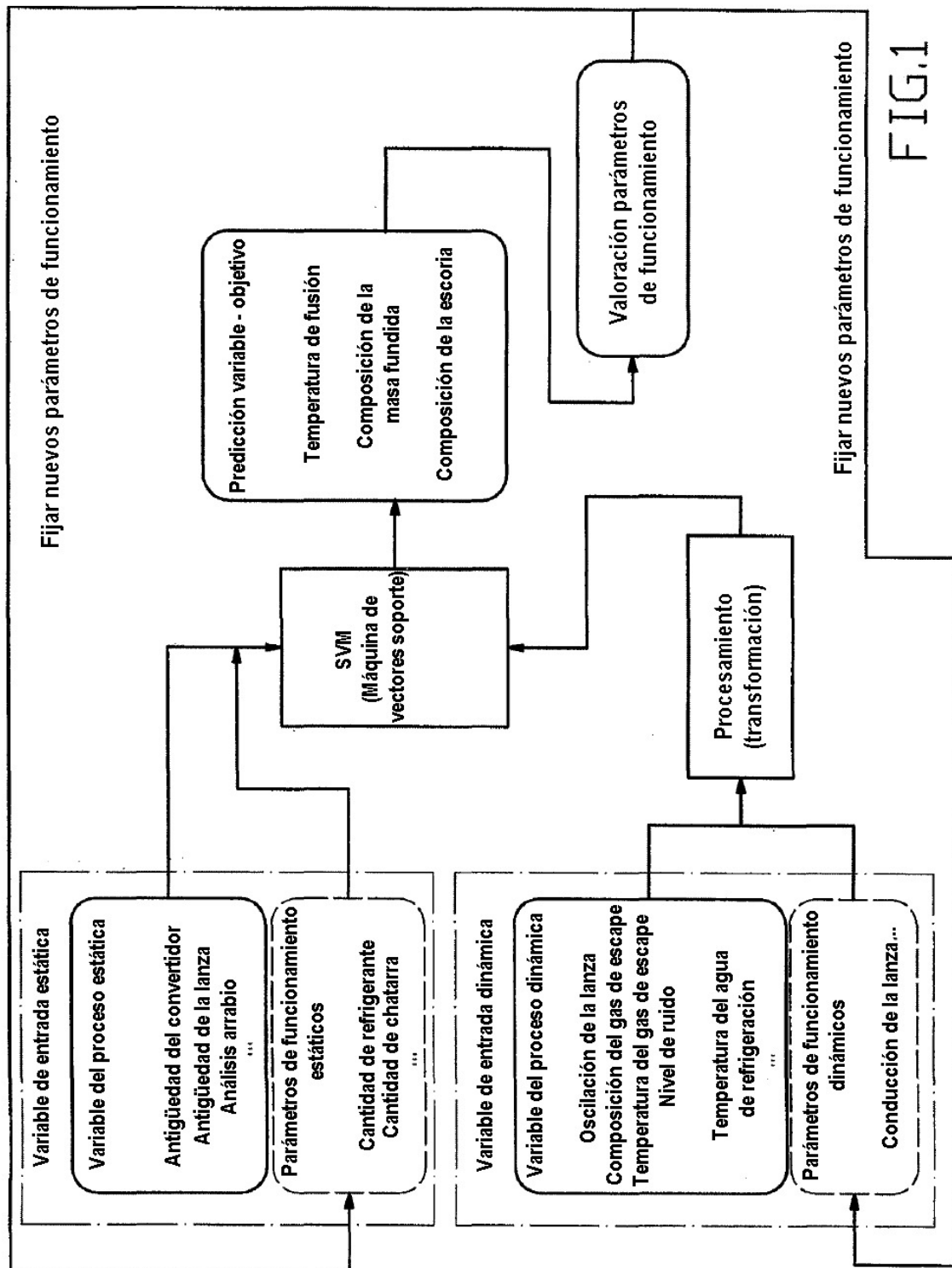


FIG.1