

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 908 114**

21 Número de solicitud: 202031069

51 Int. Cl.:

C04B 7/36 (2006.01)

G01N 33/38 (2006.01)

G06N 3/08 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

26.10.2020

43 Fecha de publicación de la solicitud:

27.04.2022

Fecha de concesión:

25.11.2022

45 Fecha de publicación de la concesión:

02.12.2022

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA (100.0%)
Pº de las Delicias, s/n - Pabellón de Brasil
41013 Sevilla (Sevilla) ES**

72 Inventor/es:

**GALLEGO FERNÁNDEZ, Luz Marina;
GONZÁLEZ FALCÓN, Rocío;
NAVARRETE RUBIA, Benito;
PORTILLO ESTÉVEZ, Esmeralda;
VEGA BORRERO, Fernando;
BAENA MORENO, Francisco Manuel y
CANO PALACIOS, Mercedes**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **HERRAMIENTA PARA GESTIONAR LA INCORPORACIÓN EFICIENTE DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS EN PLANTAS DE CEMENTO**

57 Resumen:

Método y sistema para la predicción del tipo de enriquecimiento en elementos volátiles en una planta de cemento debido a la variación de la cantidad de elementos volátiles que circulan por un circuito de elementos volátiles de la instalación, tras la adición de biomasa o residuo como combustible, y comprende las etapas de obtener una cantidad y composición de materias primas y combustibles usado; establecer un grado de sustitución térmica deseado; estimar una medida de la cantidad de elementos volátiles presentes en materias primas y combustibles; predecir una medida de la cantidad de elementos volátiles en materia prima y combustible al añadir biomasa o residuo; y generar un modelo relacionando la cantidad de elementos volátiles predicha con la que permanece; estimar la cantidad de óxido de azufre y cloro en harina de crudo y relacionarla con la cantidad de elementos volátiles que permanece obteniendo una estimación de riesgo de fallo.

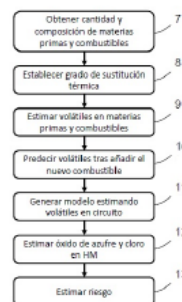


Fig. 2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 908 114 B2

DESCRIPCIÓN

HERRAMIENTA PARA GESTIONAR LA INCORPORACIÓN EFICIENTE DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS EN PLANTAS DE CEMENTO

5

OBJETO DE LA INVENCION

10 La presente invención se refiere a un método y sistema para predecir el riesgo operativo asociado a la entrada y acumulación de elementos volátiles en un circuito interno de volátiles dado en una planta de cemento.

15 La invención técnica se desarrolla en el área de conocimiento de Ingeniería Química. Concretamente, esta invención se puede englobar en el sector del uso de biomasa o residuos, pues permite evaluar la operación de una planta de cemento, cuando se modifica la cantidad de elementos volátiles que se introducen en el proceso junto con los residuos o biomasa incorporados como combustibles alternativos a los combustibles fósiles tradicionales empleados en este tipo de plantas.

20 Un objeto de la invención es un método para predecir el tipo de enriquecimiento en elementos volátiles (enriquecimiento en cloro, enriquecimiento en azufre, enriquecimiento en álcalis) al que tendería una planta de cemento, cuando varía la cantidad de estos elementos en el proceso, por incorporar nuevos combustibles alternativos, de modo que el método permite decidir incorporar o no un nuevo residuo
25 o biomasa como sustituto del combustible fósil tradicional, asegurando, de esta manera, la estabilidad de la operación.

Otro objeto de la invención se refiere a un sistema para predecir el riesgo operativo presente en el proceso de producción, derivado de la cantidad de elementos volátiles
30 que permanecen en el circuito de elementos volátiles de la planta. Este riesgo está asociado a una posible aparición de incrustaciones o pegaduras en el interior de los equipos de proceso, e incluso al bloqueo y parada de la planta.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

5 El aprovechamiento de residuos en las plantas de cemento es una práctica habitual para reducir el consumo de combustible fósil en la operación diaria de planta, y para dar una respuesta eficaz y segura a la sociedad en el tratamiento de los residuos. En 2017 el grado de sustitución térmica en las cementeras españolas procedentes de combustibles alternativos alcanzó el 26,6%, y a pesar de ser un porcentaje relevante y en continuo crecimiento, está muy alejado de la media europea (41%) e incluso del
10 porcentaje de sustitución alcanzado por países como Alemania, Holanda, Suecia, Suiza, Noruega o Austria, con valores superiores al 60%.

Toda fábrica de cemento que pretenda valorizar residuos debe contar con una autorización en la que se integre tanto la actividad de fabricación del cemento, como la
15 permisión de la propia fábrica para llevar a cabo la combustión de residuos o biomásas. En esta autorización, denominada Autorización Ambiental Integrada (AAI), se establecen las especificaciones de aceptación de los nuevos materiales o combustibles que pueden ser empleados en el proceso de producción, bien como materia prima o bien como combustibles alternativos. Dichas especificaciones están referidas a distintos
20 parámetros físicos, químicos y/o energéticos asociados a los nuevos materiales o combustibles (residuos y biomasa) que se quieran valorizar (PCI, Cl, F, S, etc.), y a la cantidad máxima admitida para ser introducidos en el proceso. El cumplimiento de estas especificaciones garantiza la preservación del medio ambiente tras el aprovechamiento de los residuos en este tipo de instalaciones. Sin embargo, no
25 asegura que la operación se lleve a cabo de forma eficiente, es decir, sin un enriquecimiento del sistema en alguno de sus elementos volátiles (Cl, S, Na₂O, K₂O), y sin propiciar el aumento del riesgo de aparición de incrustaciones o pegaduras en el interior de los equipos, provocando incluso el bloqueo del sistema de producción, asociado todo ello a la acumulación de compuestos volátiles introducidos con dichos
30 combustibles dentro del propio proceso.

A día de hoy no se conoce ningún método que a priori identifique el tipo de enriquecimiento en elementos volátiles y el nivel de riesgo operativo existente en la instalación cuando se plantea introducir un nuevo residuo o biomasa como combustible
35 al sistema. El efecto de incrementar el grado de sustitución de combustible fósil se valora con carácter predictivo, notando como la eficiencia del proceso se modifica al

existir o no un riesgo operativo derivado de la actuación anterior, y como se generan bloqueos en los equipos y, por consiguiente, paradas inesperadas de las plantas.

Este tipo de plantas presentan un gran interés por buscar una solución al problema derivado de la acumulación de elementos volátiles en el interior del sistema, para, de esta forma, reducir el número de paradas de planta ocasionadas por la presencia de incrustaciones y pegaduras en el interior de los equipos, y, por tanto, minimizar las pérdidas económicas derivadas de la caída de la eficiencia del proceso y de su nivel de producción.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La invención se refiere a un método para predecir el tipo de enriquecimiento al que tendería una planta de cemento cuando se incorporan residuos o biomasa como nuevos combustibles, y el riesgo operativo asociado a dicha actuación, derivado de la aparición de incrustaciones, pegaduras o bloqueos del sistema por acumulación de elementos volátiles en el circuito interno de volátiles dado en este tipo de instalaciones.

El método de la invención permite así solventar, con carácter predictivo, los problemas operativos que pueden derivarse de la incorporación de un nuevo combustible alternativo en las plantas de cemento.

La aparición de fallos en el funcionamiento de la planta de cemento, debido a la presencia de incrustaciones y pegaduras en el interior de los equipos y/o a bloqueos inesperados del sistema de producción durante la operación, está motivada principalmente por la quema de una gran diversidad de combustibles con composición química diversa en el horno de clínker de la planta de cemento.

El método de la invención permite conocer previamente el efecto que la incorporación de un nuevo combustible puede provocar sobre los equipos y sobre la operación diaria de la planta, reduciendo el impacto económico y medioambiental que este problema causa en este tipo de instalaciones.

El método de la invención también permite estimar el riesgo que supone para una determinada planta de cemento, incorporar dicho nuevo combustible a su sistema productivo o sustituir parte de su combustible fósil por otro de carácter biomásico.

Para ello, el método de la invención comprende una etapa de obtención de la cantidad y composición de materias primas introducidas y combustibles usados en la planta de cemento, ya que la entrada de elementos volátiles (NaO_2 , KO_2 , Cl, S) al proceso puede
5 llevarse a cabo a través de la materia prima alimentada o de los combustibles utilizados en el horno para aportar la energía térmica suficiente para producir el clínker de cemento.

A continuación, se obtiene un parámetro que indica un grado de sustitución térmica deseado, es decir, la cantidad de nuevo combustible que se desea incluir.
10

Una vez obtenidos estos datos, se procede a estimar una medida de la cantidad de elementos volátiles presentes en las materias primas, en la harina de crudo (Hot Meal), y en los combustibles introducidos en la planta de cemento.
15

Una vez conocido el estado actual de la planta de cemento, en lo que a cantidad de elementos volátiles presentes se refiere, se procede a realizar una estimación de la cantidad de elementos volátiles que habría en la materia prima y los combustibles de la planta de cemento en el nuevo escenario de operación, es decir, al añadir un nuevo
20 combustible o sustituir el combustible ya presente de acuerdo con el grado de sustitución térmica establecido. Para ello, se debe conocer previamente la composición en elementos volátiles del nuevo combustible a introducir.

Entonces, se genera un modelo que relaciona la cantidad de elementos volátiles predicha en la nueva situación de operación, con la cantidad de elementos volátiles que permanece circulando en el circuito de elementos volátiles de la planta de cemento, indicando el tipo de enriquecimiento (azufre, cloro y/o álcalis) que prevalecería en la planta, dado el nuevo escenario de valorización. Preferiblemente, el modelo generado tiene la forma de árbol de decisión, que marca la tendencia de enriquecimiento de la
25 planta cuando se modifica la composición de elementos volátiles con la incorporación del nuevo combustible.
30

El modelo se desarrolla haciendo uso de la metodología CRISP-DM y de técnicas de minería de datos a partir de las cuales se analizan los datos, se genera el modelo y se valida. Este modelo parte de la cantidad de elementos volátiles estimada y de datos
35 previamente obtenidos referentes al orden de afinidad de los elementos volátiles en el

interior del sistema, como son la Ratio Álcalis - Sulfato y el parámetro Álcalis residual, determinando así si existe un enriquecimiento de elementos volátiles de tipo azufre, álcalis o cloro en el circuito de elementos volátiles de la planta de cemento.

5 Este cálculo se lleva a cabo ya que, una vez introducidos los elementos volátiles en el sistema, en función de los compuestos formados, respetando el orden de afinidad de los elementos volátiles y dependiendo de las cantidades introducidas, éstos pueden abandonar el circuito de elementos volátiles junto con los gases de proceso, el clínker, el polvo de clínker o CKD, o quedar retenidos en él.

10

El paso del tiempo y la gestión inadecuada de dichos elementos volátiles puede provocar el enriquecimiento del sistema en cloro, álcalis o azufre, y generar problemas operativos derivados de la aparición de incrustaciones y pegaduras en los equipos, o del bloqueo de la propia instalación, mermando la producción y repercutiendo negativamente en el balance económico de la planta.

15

Para estimar el riesgo de fallos en el funcionamiento de la planta, el método además puede comprender las etapas de:

- estimar la cantidad de óxido de azufre (SO_3) y cloro (Cl) en la harina de crudo o Hot Meal; y

20

- relacionar la cantidad de elementos volátiles que permanecen en el circuito de elementos volátiles con la cantidad de óxido de azufre (SO_3) y cloro (Cl) en la harina de crudo, obteniendo así una estimación del riesgo de fallo en el funcionamiento de la planta.

25

Preferiblemente, la relación entre la cantidad de óxido de azufre (SO_3) y cloro (Cl) en la harina de crudo y el riesgo de fallo en el funcionamiento de la planta, se expresa mediante un gráfico de tolerancia de Cl vs. SO_3 en la Hot Meal o harina de crudo, que indica el nivel de riesgo de aparición de problemas operativos (pegaduras, incrustaciones o bloques) más probable al que tendería la planta (Nivel bajo, nivel medio, nivel alto) según el tipo de enriquecimiento dado cuando se introduce el nuevo combustible en el horno.

30

Así, la combinación del modelo descrito y del análisis de la cantidad de óxido de azufre (SO_3) y cloro (Cl) en la harina de crudo, permite estimar el nivel de riesgo en la planta

35

de formar pegaduras, incrustaciones y/o bloqueos del sistema, cuando se plantea la modificación del mix de combustibles empleado en el horno de clínker.

De este modo, el método de la invención permite a un responsable de producción decidir antes de actuar, si es conveniente incorporar o no un nuevo combustible al mix de combustibles original, o qué tipo de combustible alternativo puede ser el más recomendado en función de su composición, para sustituir parte del combustible fósil empleado hasta entonces en la planta, reduciendo o mejorando el impacto técnico y medioambiental que este hecho causa sobre la operación.

10

La invención también se refiere a un sistema de predicción de la cantidad de elementos volátiles en una planta de cemento, que comprende:

- una base de datos, que comprende datos acerca del orden de afinidad de los elementos volátiles;
- 15 - una unidad de procesamiento, que calcula la cantidad de elementos volátiles presentes en la materia prima y el combustible, a partir de datos de cantidad y composición de la materia prima y el combustible, que pueden ser obtenidos mediante un conjunto de sensores colocados en la planta de cemento;
- una unidad de predicción, conectada con la unidad de procesamiento, que predice la cantidad de elementos volátiles que habría en la materia prima, el combustible y en la harina de crudo o Hot Meal, en función de un parámetro del grado de sustitución térmica deseado y la composición y cantidad de nuevo combustible introducido; y
- 20 - una unidad de cálculo de elementos volátiles, conectada a la base de datos y a la unidad de predicción, y que obtiene una medida de enriquecimiento en elementos volátiles tipo azufre, álcalis o cloro, mediante un modelo, preferiblemente basado en algoritmos generados mediante la metodología CRISP-DM, que relaciona la cantidad de elementos volátiles predicha por la unidad de predicción con la cantidad de elementos volátiles que permanecen en un circuito de elementos volátiles, calculada a partir de la cantidad de elementos volátiles estimada y los datos referentes al orden de afinidad de la base de datos.
- 25
- 30

El sistema también puede comprender una unidad de predicción de riesgo, conectada a la unidad de cálculo de elementos volátiles, y que obtiene una estimación del riesgo de fallo en el funcionamiento de la planta en base a la cantidad de óxido de azufre (SO_3)

35

y cloro (Cl) presentes en la harina de crudo (Hot Meal) y la cantidad de elementos volátiles que circulan por el circuito de elementos volátiles de la planta.

5 Así, el sistema refleja la situación actual de la planta en cuanto a la presencia de elementos volátiles se refiere, mediante la unidad de procesamiento; indica cómo evolucionaría la operación cuando se desea incorporar un combustible o residuo con un contenido determinado de elementos volátiles en su matriz, mediante la unidad de predicción; y, en función de si la adición de biomasa o residuo como combustible produce un aumento o una disminución de los elementos volátiles totales que entrarían al sistema, indica la tendencia que presentaría la instalación de evolucionar hacia un enriquecimiento en cloro, un enriquecimiento en álcalis o un enriquecimiento en azufre, mediante la unidad de cálculo de elementos volátiles. Finalmente, se determina si esta nueva situación operativa conduciría a operar dentro de una zona libre de riesgos operativos, es decir, libre de incrustaciones, pegaduras o bloqueos, o si, por el contrario, 10 operaría en una zona de riesgo de aparición de algunos de los problemas mencionados, mediante la unidad de predicción de riesgo. 15

El análisis predictivo llevado a cabo por el sistema permite tomar la decisión de incorporar o no un nuevo combustible al horno de clínker aumentando o no el grado de sustitución térmica en este equipo, o conocer la calidad que debe de tener el combustible a introducir en el proceso y, por tanto, las necesidades de acondicionamiento de este nuevo combustible. De esta manera se evitaría que la operación se desplazase hacia zonas donde el riesgo operativo se haga evidente, reduciendo, por tanto, las paradas inesperadas de planta, la reducción de la capacidad de producción o la bajada de la calidad del producto elaborado. 20 25

En este contexto, dadas las severas condiciones de operación que reinan en este tipo de instalaciones, y dado que el aprovechamiento de residuos es clave para el desarrollo de una economía circular, el desarrollo de esta invención se estima de especial interés tanto a nivel industrial, por los ahorros que su uso podría llevar asociado; como a nivel medioambiental, a propiciar el aprovechamiento de residuos como sustituto de combustibles fósiles de una forma segura. 30

35

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- muestra una realización preferente del sistema para predecir la cantidad de elementos volátiles que circulan por un circuito de elementos volátiles de una planta de cemento de la invención.

Figura 2.- muestra una realización preferente del método para predecir la cantidad de elementos volátiles que circulan por un circuito de elementos volátiles de una planta de cemento de la invención.

Figura 3.- muestra un modelo de árbol de decisión para la predicción del tipo de enriquecimiento en elementos volátiles en una planta de cemento de acuerdo con una realización preferente de la invención.

Figura 4.- muestra un ejemplo de un gráfico de tolerancia cloro - óxido de azufre en la harina de crudo o Hot Meal, de acuerdo con una realización preferente de la invención.

Figura 5.- muestra la evolución de la operación de la planta con la incorporación de una cierta cantidad de un nuevo combustible al horno de clínker, sobre el gráfico de tolerancia cloro - óxido de azufre de acuerdo con un ejemplo de implementación de la invención.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un método y un sistema para predecir el tipo de enriquecimiento en elementos volátiles dado en una planta de cemento, al incorporar biomasa o residuos como combustible en el horno de clínker, y el riesgo asociado a dicha actuación en cuanto a la aparición de ineficiencias en la operación derivadas de la aparición de incrustaciones, pegaduras y bloqueos del sistema.

Como se muestra en las Figuras 1 y 2, el método de la invención hace uso de una base de datos (1) que contiene el histórico de datos de operación de una planta de cemento, recomendable al menos 1 año, en la que se incluyen los parámetros de composición en

elementos volátiles (SO_3 , Cl, Na_2O y K_2O) de la materia prima y el combustible usado. Estos parámetros se estiman (9) mediante la unidad de procesamiento (2), obteniendo (7) previamente una cantidad y composición de materias primas introducidas y combustibles usados en la planta de cemento, preferiblemente mediante un conjunto de sensores (6).

Seguidamente, se procede a predecir (10) la cantidad de elementos volátiles que estarán presentes en la materia prima y el combustible de la planta de cemento si se añade biomasa o residuo como nuevo combustible o sustituto del combustible ya presente, de acuerdo con un grado de sustitución térmica previamente obtenido (8) y conociendo la composición en elementos volátiles del nuevo combustible, mediante la unidad de predicción (3).

A continuación, se genera (11), mediante una unidad de cálculo de elementos volátiles (4), un modelo de árbol de decisión a partir de la definición de los siguientes indicadores: Ratio A/S, álcalis residual, óxido de azufre, cloro, álcalis, óxido de azufre en la harina de crudo, cloro en la harina de crudo y álcalis en la harina de crudo. Para ello, se aplica la metodología CRISP-DM haciendo uso de un software de análisis de datos, y se obtiene el modelo de árbol de decisión con un ajuste cercano al 90%.

La figura 3 muestra un ejemplo del modelo de árbol de decisión generado en una realización particular del método de la invención, que comprende 18 nodos, y el nodo 0.

En este modelo los datos de entrada son la cantidad de elementos volátiles que entran al sistema, óxido de azufre, cloro, álcalis, representados en las líneas que unen los nodos, y los datos de salida son el tipo de enriquecimiento dado en la planta en función de la cantidad de elementos volátiles presentes, es decir, enriquecimiento en azufre; enriquecimiento en álcalis; enriquecimiento en cloro u operación normal, dado en cada nodo del árbol que a su vez da paso a los nodos situados más abajo.

Una vez identificado el tipo de enriquecimiento y estimando (12) la composición en elementos volátiles presentes en la harina de crudo (Hot Meal), se estima (13) el nivel de riesgo dado en la instalación para formar pegaduras, incrustaciones o bloqueos del sistema cuando se introduce la cantidad de elementos volátiles que dan lugar al tipo de

enriquecimiento identificado con el modelo de árbol, mediante una unidad de predicción de riesgo (5).

5 Esta estimación del nivel de riesgo se lleva a cabo mediante un gráfico, obtenido de bibliografía especializada, que relaciona el porcentaje de cloro y el porcentaje de óxido de azufre en la harina de crudo o Hot Meal, previamente estimados. La Figura 4 muestra un ejemplo de dicho gráfico en una realización particular de la invención. El gráfico permite localizar la zona de operación (riesgo bajo, riesgo medio, riesgo alto) en la que la planta de cemento estaría operando. De ese modo, en el gráfico se identifican 3
10 zonas:

- una zona de riesgo bajo: con un porcentaje bajo de cloro y un porcentaje bajo de óxido de azufre, delimitada por una línea continua;
- una zona de riesgo medio: con un porcentaje medio de cloro y un porcentaje medio de óxido de azufre, delimitada por la línea continua y una línea discontinua; y
15 - una zona de riesgo alto: con un porcentaje alto de cloro y un porcentaje alto de óxido de azufre, delimitada por la línea discontinua.

EJEMPLO

20 En un ejemplo de realización, la cantidad de volátiles totales presentes en el sistema y en la harina de crudo (Hot Meal, HM), ambos expresados en base al clínker, en la situación de operación actual de la planta son los mostrados en la Tabla 1.

	Caudal	Composición (%cli)				Cantidad volátiles (kg/h)				
	Kg/h	SO ₃ (%cli)	Cl (%cli)	Na ₂ O (%cli)	K ₂ O (%cli)	SO ₃	Cl	Na ₂ O	K ₂ O	Álcalis
CLS	1500	0,12	0,14			128,8	156,8			0
Asfaltos/ aceites	1000	0,18	0,02			199,4	19,04			0
CSSf	3000	0,48	0,06			537,6	71,7			0
CSSg	1000	0,04	0,01			47,04	12,3			0
Coque	8000	3,90	0,02			4386	16,8			0
Crudo	190000	1,20	0,21	0,89	3,04	1346,2	236,2	993,4	3407	4400,5
Clinker	112000	2,77	0,10	0,92	1,35	3096,8	112	1030,4	1514,2	2544,6
SO ₂ emitido										
gas	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
chimenea										
Inputs										
Sistema (%cli)						5,92	0,46			3,93
Hot Meal (%cli)						3,15	0,36	Na ₂ O eq.		1,08

Tabla 1.

- 5 Se evalúa incorporar un nuevo combustible (CDR) a la operación actual de dicha planta de cemento. En esta situación, los volátiles al sistema entran con el crudo y los combustibles alimentados (CLS, Asfaltos, CSSf, CSSg, CDR, Coque), y salen con el clínker producido y con los gases en forma de SO₂. La cantidad de volátiles que entra en el sistema y presente en la harina de crudo, expresada en base al clínker, se muestra
- 10 en la Tabla 2.

	Caudal	Composición (%cli)				Cantidad volátiles (kg/h)				
	Kg/h	SO ₃ (%cli)	Cl (%cli)	Na ₂ O (%cli)	K ₂ O (%cli)	SO ₃	Cl	Na ₂ O	K ₂ O	Álcalis
CLS	1500	0,02	0,03			25,8	156,8			0
Asfaltos/ aceites	1000	0,01	0,00			10,1	19,04			0
CSSf	3000	0,03	0,01			34,7	71,7			0
CSSg	1000	0,01	0,00			9	12,3			0
CDR Co- cbtion	8667	0,1	0,04	0,03	0,23	108,3	44,6	30,6	261,6	292,3
Coque	3888	1,41	0,01			764,8	2,7			0
Crudo	190000	0,41	0,08	0,31	1,52	458,1	90,7	349,4	1706,9	2056,3
Clinker	112000	1,10	0,01	0,74	0,07	1235,4	7,8	828,8	82,9	911,7
SO ₂ emitido										
gas	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
chimenea										
Inputs										
Sistema (%cli)						1,26	0,17			2
Hot Meal (%cli)						0,16	0,16	Na ₂ O eq.		0,71

Tabla 2.

- 5 Haciendo uso del método de la invención descrito se determina que, para la situación actual de la planta, caso base, la planta estaría enriquecida en azufre, operando en zona inestable donde es frecuente la aparición de incrustaciones en los equipos, es decir, la planta estaría operando con un nivel de riesgo medio en cuanto a la formación de pegaduras se refiere, como se muestra en la Tabla 3.

Elementos volátiles			Evolución circuito volátiles	Tipo operación de planta
Elementos volátiles	Inputs Sistema (%cli)	Hot Meal (%cli)	Modelo árbol	Sistema predicción riesgo
SO ₃	5,92	3,15	Enriquecimiento azufre (precisión=70,8% - 0% en álcalis) Exceso azufre sobre álcalis.	%Cl Hot Meal < 0,74 Operación Inestable. Frecuentes incrustaciones.
Cl	0,46	0,36		
Álcalis (Na ₂ O eq.)	3,93	1,08		

Tabla 3.

- 5 Para la nueva situación de planta que se plantea, escenario de valorización, la planta estaría enriquecida en cloro, pero tendería a operar de forma estable, es decir, con un riesgo bajo en cuanto a la aparición de problemas operacionales, como se muestra en la Tabla 4.

Elementos volátiles			Evolución circuito volátiles	Tipo operación de planta
Elementos volátiles	Inputs Sistema (%cli)	Hot Meal (%cli)	Modelo árbol	Sistema predicción riesgo
SO ₃	1,26	0,16	Enriquecimiento en cloro	%Cl Hot Meal < 0,75 Operación Estable. Más tolerancia en cloro (Menor entrada SO ₃)
Cl	0,17	0,16		
Álcalis/Na ₂ O eq.	2,10	0,71		

Tabla 4.

La figura 5 muestra de forma gráfica la evolución de la operación de la planta en vista de la adición del nuevo combustible, disminuyendo la cantidad de coque alimentado, que en este caso, sería recomendable, al mejorar no sólo las condiciones ambientales

(reducción de emisiones) sino también al mejorar los problemas operativos (incrustaciones) que viene sufriendo la planta en su modo de operación actual, ya que el desplazamiento del caso base al escenario de valorización supone una reducción elevada en la cantidad de óxido de azufre y una ligera reducción en la cantidad de cloro.

5

REIVINDICACIONES

- 1.- Método para la predicción del tipo de enriquecimiento en elementos volátiles debido a la variación de la cantidad de elementos volátiles que circulan por un
5 circuito de elementos volátiles de una planta de cemento tras la adición de biomasa o residuo como combustible al proceso, que comprende las etapas de:
 - obtener (7) una cantidad y composición de materias primas introducidas y combustibles usados en la planta de cemento;
 - establecer (8) un grado de sustitución térmica ;
 - 10 - estimar (9) una medida de la cantidad de elementos volátiles presentes en las materias primas, en la harina de crudo (Hot Meal), y en los combustibles de la planta de cemento;
 - predecir (10) una medida de la cantidad de elementos volátiles presentes en la materia prima, en el combustible de la planta de cemento, y en la Hot
15 Meal, al añadir un nuevo combustible o sustituir el combustible ya presente, de acuerdo con el grado de sustitución térmica obtenido, conociendo la composición en elementos volátiles del nuevo combustible; y
 - generar (11) un modelo que relacione la cantidad de elementos volátiles predicha con la cantidad de elementos volátiles que permanecen circulando
20 en un circuito de elementos volátiles de la planta de cemento, a partir de la cantidad de elementos volátiles estimada y de datos previamente obtenidos referentes al orden de afinidad de los elementos volátiles, determinando si existe un enriquecimiento de elementos volátiles de tipo azufre, álcalis o cloro.
- 25 2.- Método de acuerdo con la reivindicación 1, que además comprende las etapas de:
 - estimar (12) la cantidad de óxido de azufre (SO_3) y cloro (Cl) en harina de crudo (Hot Meal); y
 - 30 - estimar (13) el riesgo de fallo en el funcionamiento de la planta, relacionando la cantidad de elementos volátiles que permanecen en el circuito de elementos volátiles con la cantidad de óxido de azufre (SO_3) y cloro (Cl) en la harina de crudo, determinando si se opera en una zona de riesgo o libre de riesgos.

35

- 3.- Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el modelo generado es un árbol de decisión, que marca la tendencia de composición de elementos volátiles en la materia prima y el combustible, y permite decidir si incorporar o no un combustible o decidir la calidad del combustible más adecuada.
- 5
- 4.- Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 y 3, donde la relación entre la cantidad de óxido de azufre (SO_3) y cloro (Cl) en la harina de crudo y el riesgo de fallo en el funcionamiento de la planta se expresa mediante un gráfico.
- 10
- 5.- Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la etapa de generar (11) un modelo que relacione la cantidad de elementos volátiles predicha con la cantidad de volátiles que permanecen circulando en un circuito de elementos volátiles de la planta de cemento se lleva a cabo haciendo uso de la metodología CRISP-DM.
- 15
- 6.- Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los datos previamente obtenidos referentes al orden de afinidad comprenden los indicadores Ratio A/S y Álcalis residual.
- 20
- 7.- Sistema de predicción de la cantidad de elementos volátiles en una planta de cemento que comprende:
- una base de datos (1), que comprende datos acerca del orden de afinidad de los elementos volátiles;
 - una unidad de procesamiento (2), que calcula la cantidad de elementos volátiles presentes en la materia prima y el combustible, a partir de datos de cantidad y composición de la materia prima y el combustible;
 - una unidad de predicción (3), conectada con la unidad de procesamiento (2), que predice la cantidad de elementos volátiles que habría en la materia prima y el combustible, en función de un parámetro del grado de sustitución térmica deseado y la composición y cantidad de biomasa o residuo introducido como combustible; y
 - una unidad de cálculo de elementos volátiles (4), conectada a la base de datos (1) y a la unidad de predicción (3), y que obtiene una medida de enriquecimiento en elementos volátiles tipo azufre, álcalis o cloro, mediante un modelo que relaciona la cantidad de elementos volátiles predicha por la
- 25
- 30
- 35

unidad de predicción (3) con la cantidad de elementos volátiles que permanecen en un circuito de elementos volátiles, calculada a partir de la cantidad de elementos volátiles estimada y los datos referentes al orden de afinidad de la base de datos (1).

5

8.- Sistema de acuerdo con la reivindicación 7, que además comprende una unidad de predicción de riesgo (5), conectada a la unidad de cálculo de elementos volátiles (4), y que obtiene una estimación del riesgo de fallo en el funcionamiento de la planta en base a la cantidad de óxido de azufre (SO_3) y cloro (Cl) presentes en la harina de crudo y la cantidad de elementos volátiles que circulan por el circuito de elementos volátiles de la planta.

10

9.- Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 8, donde la unidad de predicción (3) incorpora algoritmos basados en la metodología CRISP-DM.

15

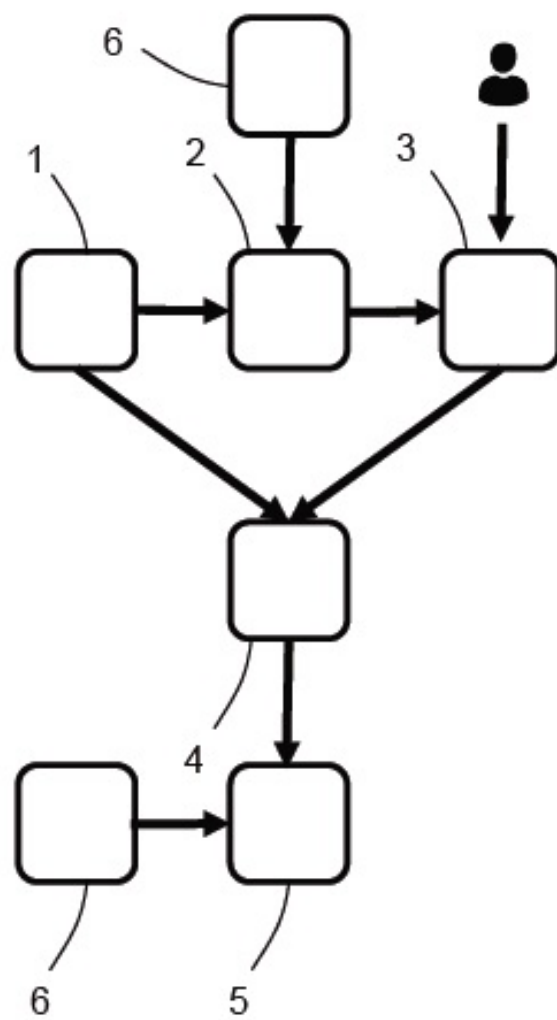


Fig. 1

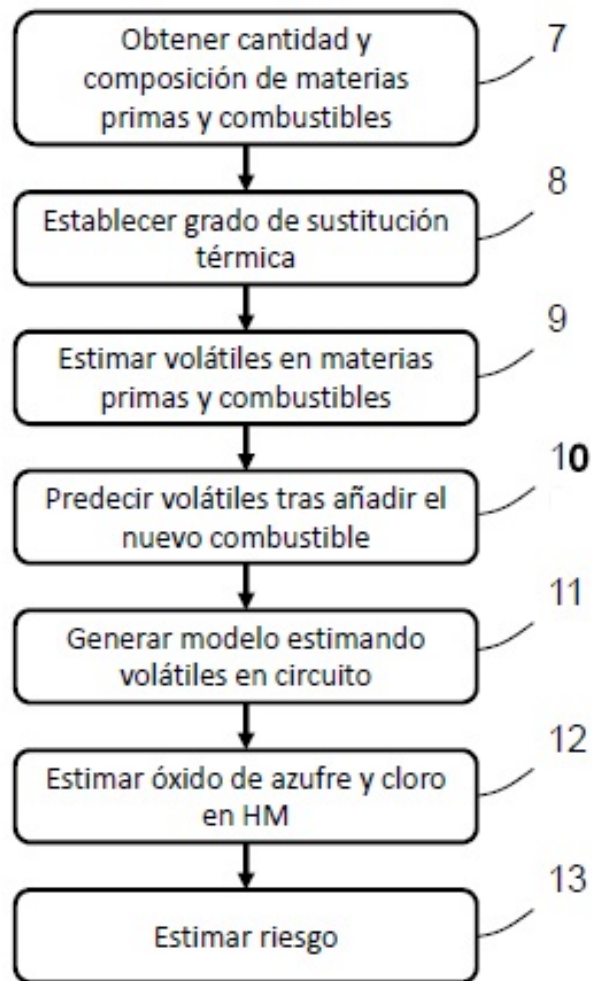


Fig. 2

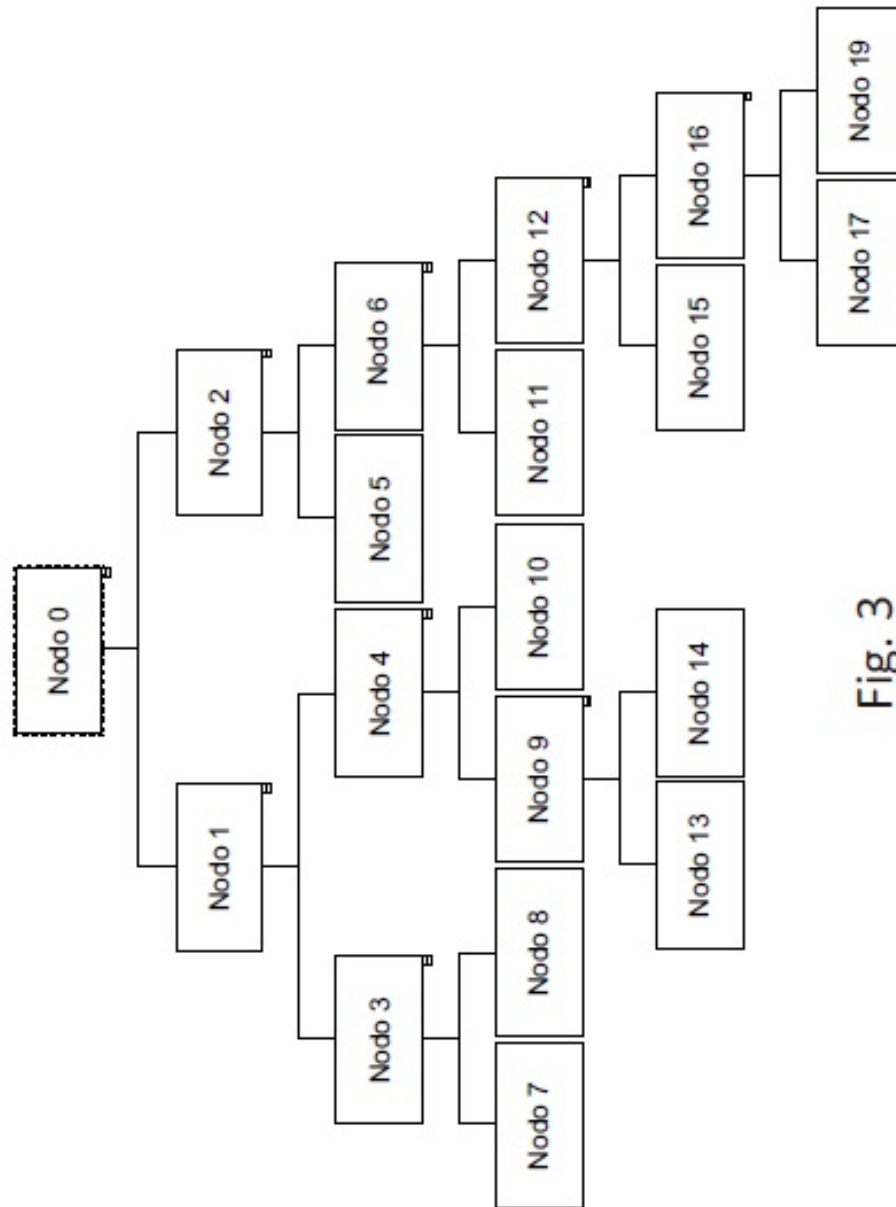


Fig. 3

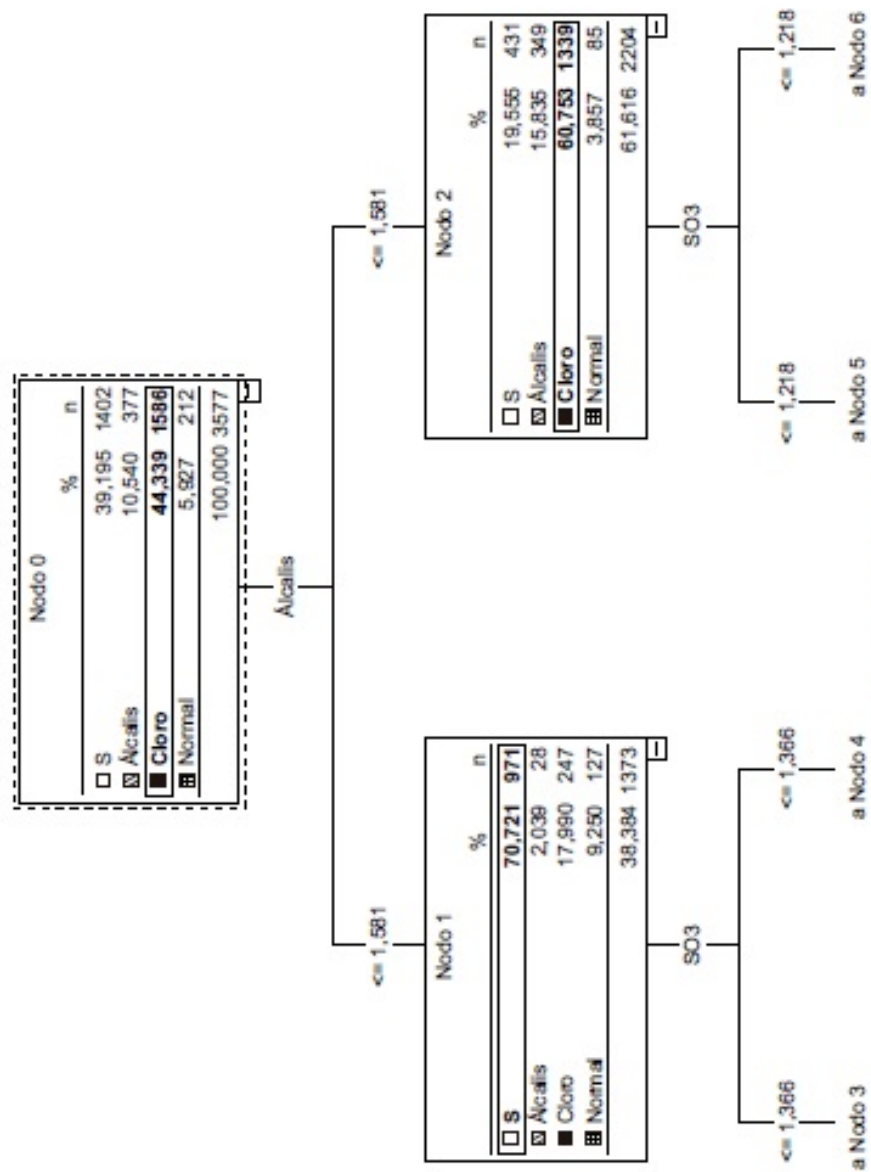


Fig. 3 (Cont.)

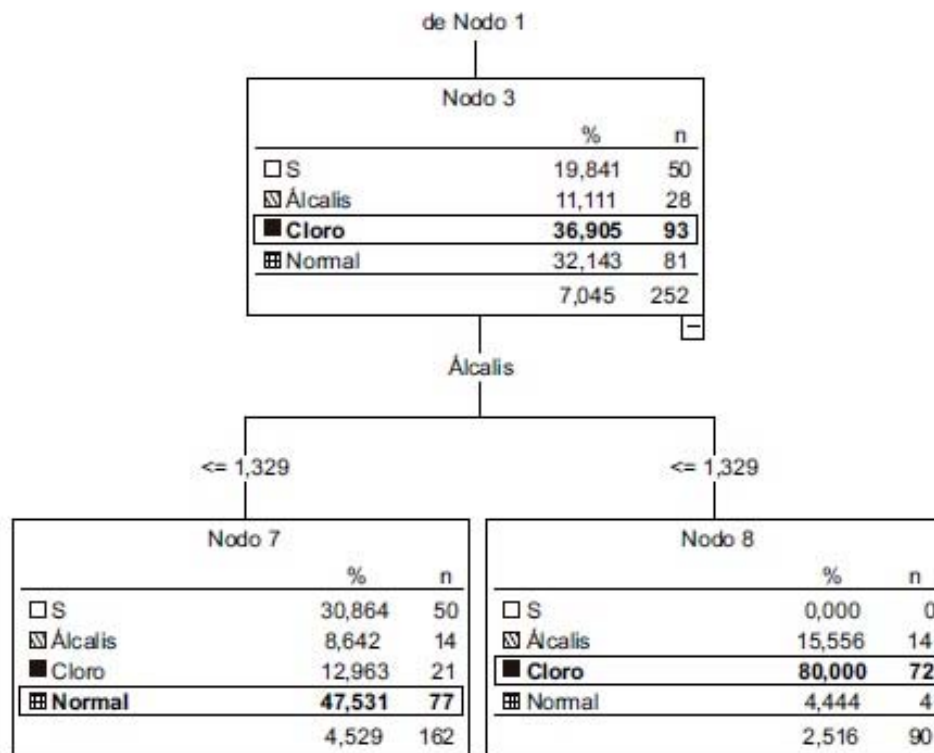


Fig. 3 (Cont.)

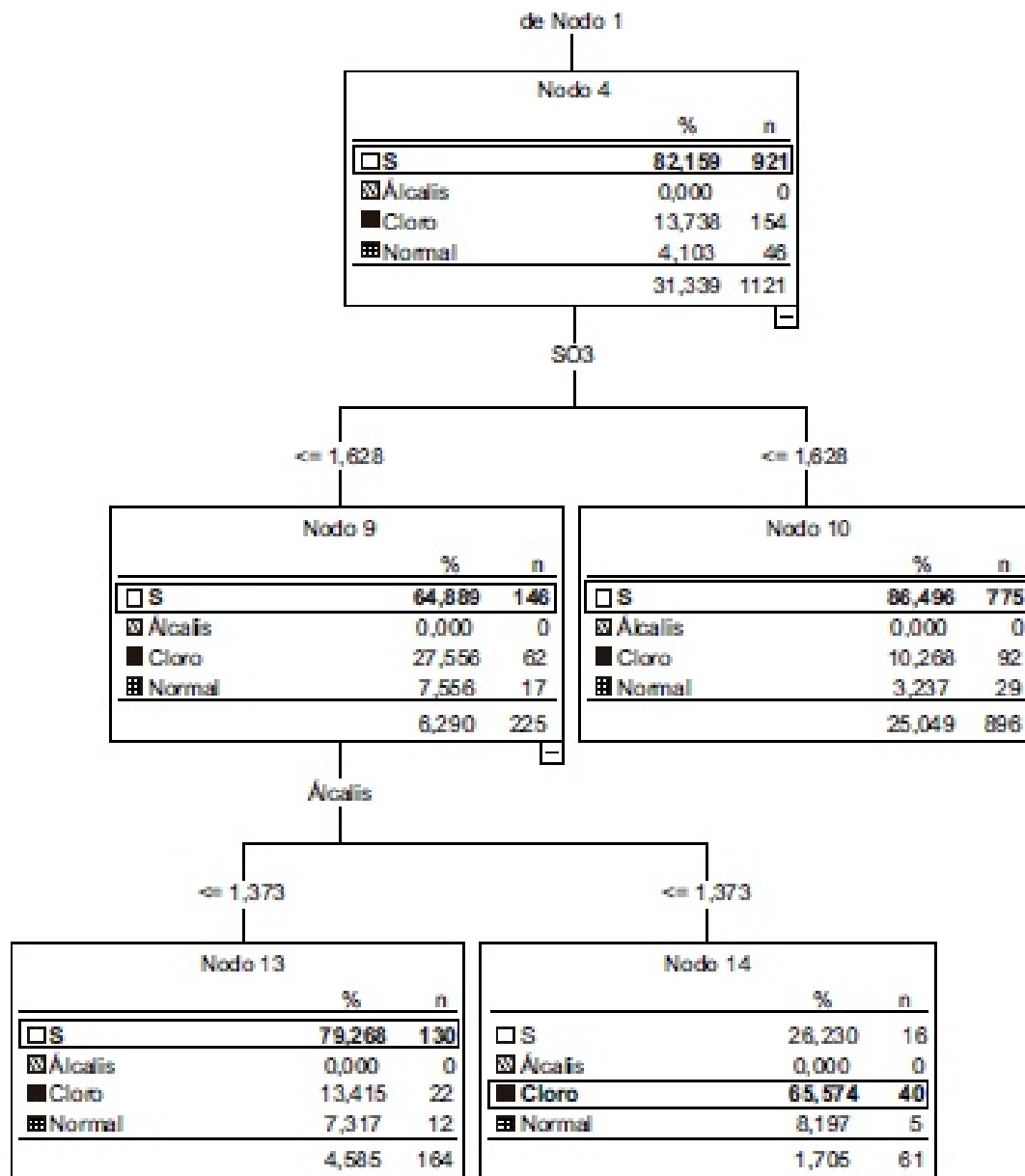
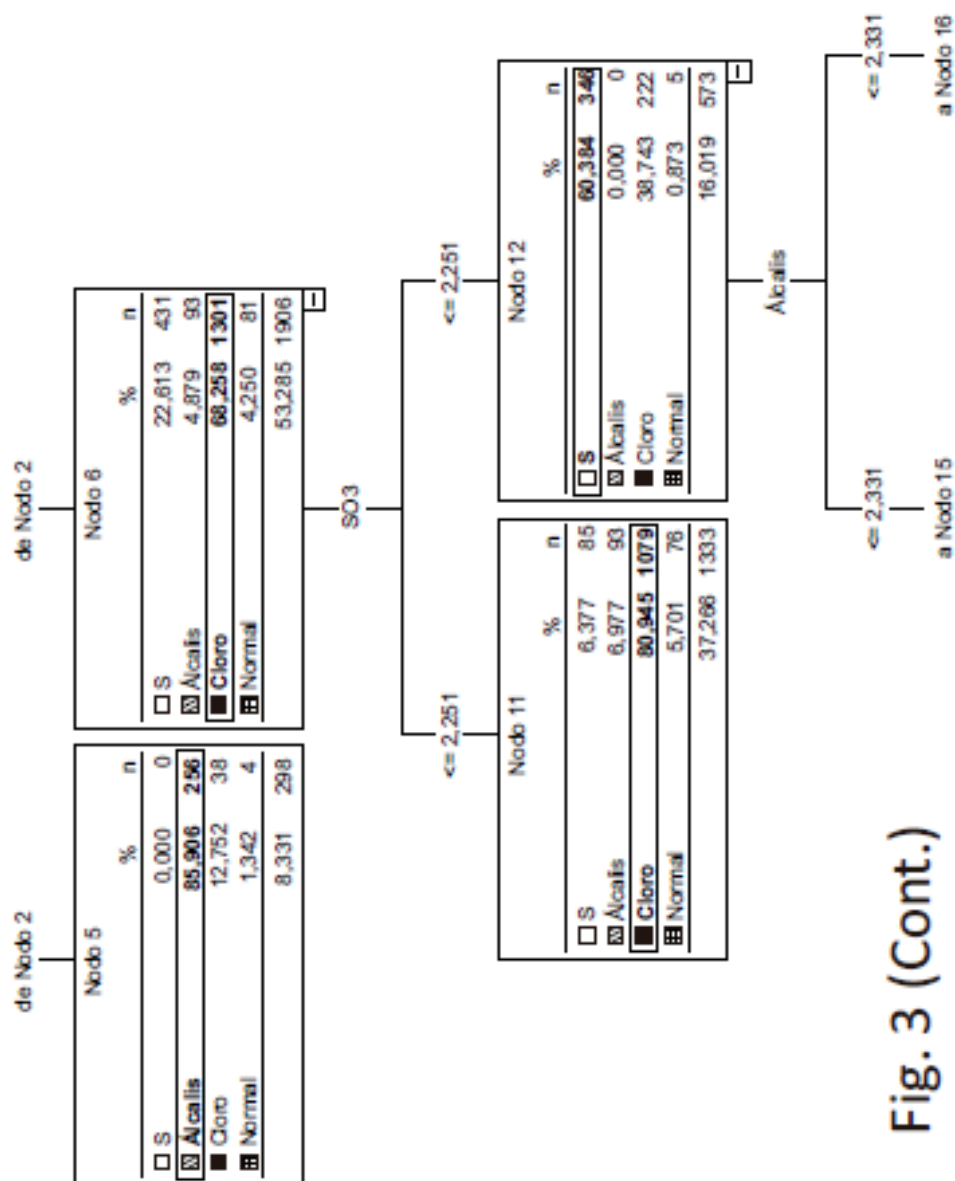


Fig. 3 (Cont.)



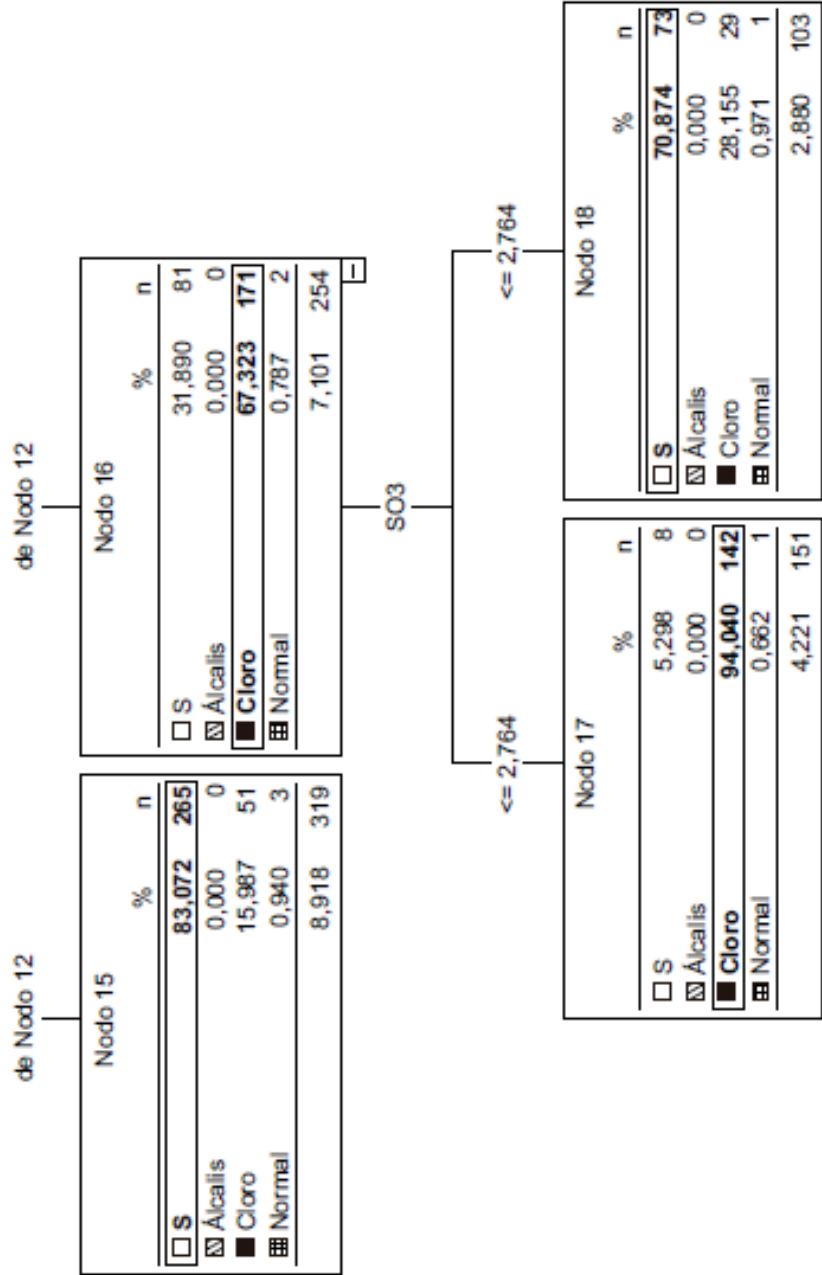


Fig. 3 (Cont.)

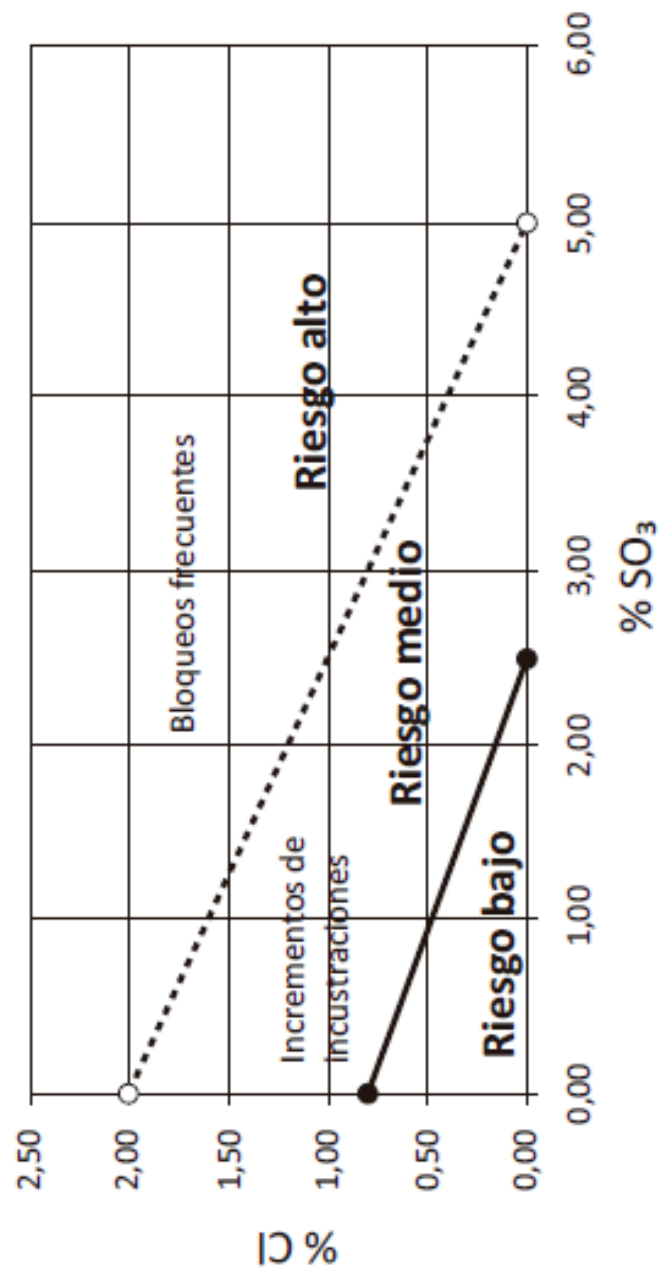


Fig. 4

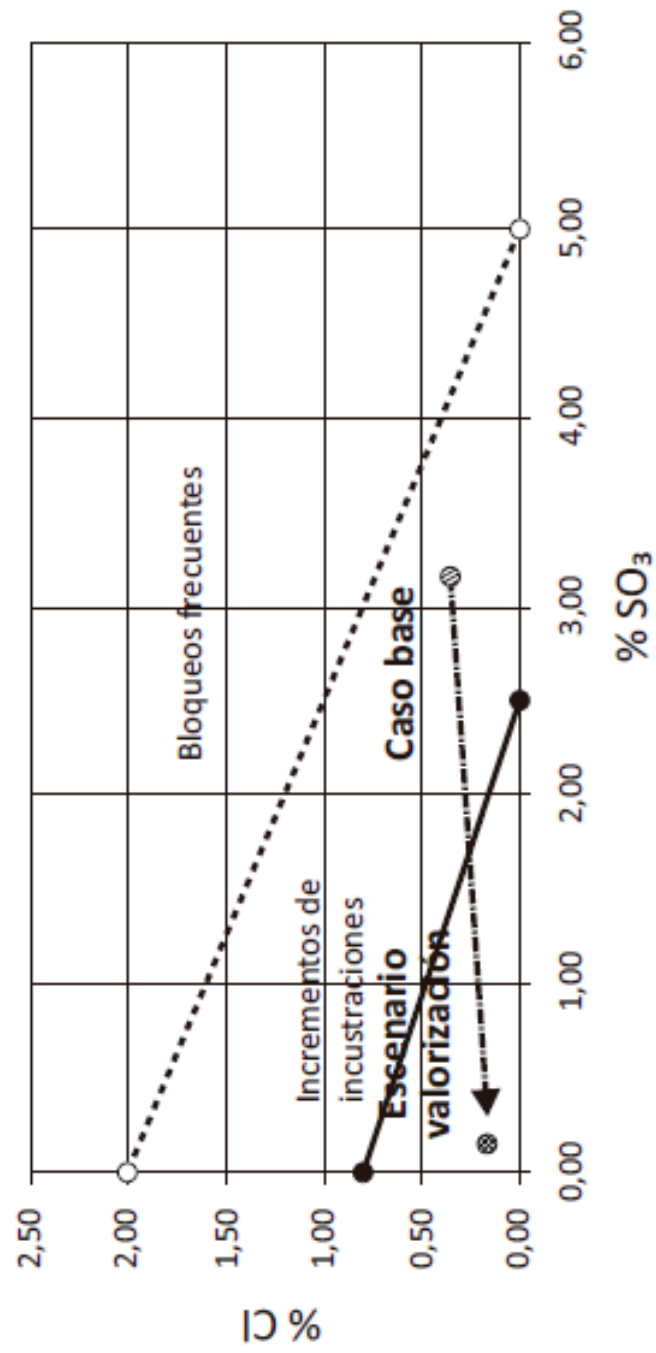


Fig. 5