

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la
Propiedad Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional

18 de agosto de 2016 (18.08.2016) **WIPO | PCT**

(10) Número de Publicación Internacional

WO 2016/128596 A1

(51) Clasificación Internacional de Patentes:

C22B 1/02 (2006.01) **C22B 9/22** (2006.01)

B01J 19/12 (2006.01) **C22B 4/00** (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:

PCT/ES2016/070049

(22) Fecha de presentación internacional:

28 de enero de 2016 (28.01.2016)

(25) Idioma de presentación:

español

(26) Idioma de publicación:

español

(30) Datos relativos a la prioridad:

P 201530151

9 de febrero de 2015 (09.02.2015)

ES

(71) Solicitante: **INNCEINMAT, S.L.** [ES/ES]; Avda.

Ferrandis Salvador, 5.º entlo. 6, Grao de Castellón, 12100
Cast. de la Plana (ES).

(72) Inventores: **LOPEZ BUENDIA, Ángel Miguel**; Av. Pi

Margall, 4, pta. 21, Burjassot, 46100 Burjassot Valencia
(ES). **URQUIOLA, María del Mar**; Av. Pi Margall, 4,
pta. 21, Burjassot, 46100 Valencia (ES).

(74) Mandatarios: **CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel** et al.;

C/Suero de Quiñones, 34-36, 28002 Madrid (ES).

(81) Estados designados (*a menos que se indique otra cosa,*

para toda clase de protección nacional admisible): AE,

AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN,
BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ,
DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE,
KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG,
NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS,
RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY,
TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN,
ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (*a menos que se indique otra cosa,*
para toda clase de protección regional admisible):

ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW,
SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ,
BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Declaraciones según la Regla 4.17:

— *sobre la calidad de inventor (Regla 4.17(iv))*

Publicada:

— *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*

(54) **Title:** SELECTIVE PROCESS FOR THE EXTRACTION OF MINERALS FROM CRUDE ORES AND APPARATUS FOR CARRYING OUT THE PROCESS

(54) **Título :** PROCEDIMIENTO SELECTIVO DE EXTRACCIÓN DE MINERALES DE MENAS EN BRUTO Y APARATO PARA LLEVAR A CABO ESTE PROCEDIMIENTO

(57) **Abstract:** The present invention relates to a selective process for extracting metals from a raw mineral, which comprises: treating the raw mineral with a dominant microwave magnetic field, or an H-field, in an open-ended single-mode applicator; and separating the products obtained. The process allows continuous operation. To carry out the process, the invention defines a device for processing raw mineral, comprising: a chamber (1) for confining microwaves and selecting H-field mode, E-field mode or alternating E- and H-field mode, according to the complex dielectric permittivity and magnetic permeability properties of the raw mineral; transporting means (7, 8, 9) for transporting by removing the particles of the raw mineral through the chamber; application means for generating a microwave electromagnetic field inside the chamber; and tuning means (4) for tuning and adapting the frequency of the electromagnetic mode.

(57) **Resumen:** La presente invención se refiere a un procedimiento selectivo de extracción de metales de un mineral bruto, que comprende el tratamiento de dicho mineral bruto con un campo magnético dominante de las microondas, o campo H, en aplicador monomodo abierto, y la separación de los productos obtenidos. El procedimiento permite operar en continuo. Para la realización del procedimiento la invención define un dispositivo de procesamiento de mineral bruto que comprende una cámara (1) para confinar microondas y seleccionar un modo de campo H, de campo E o de campo alternante E-H, de acuerdo con las propiedades de permitividad dieléctrica y permeabilidad magnética complejas del mineral bruto, medios de transporte (7, 8, 9) para transportar removiendo las partículas del mineral bruto a través de la cámara, medios de aplicación para generar un campo electromagnético de microondas en el interior de la cámara, y medios de sintonización (4) para sintonizar y adaptar la frecuencia del modo electromagnético.



WO 2016/128596 A1

PROCEDIMIENTO SELECTIVO DE EXTRACCIÓN DE METALES DE UN MINERAL BRUTO, DISPOSITIVO Y SISTEMA PARA SU REALIZACIÓN

Campo de la Invención

5

La presente invención tiene aplicación en el campo de los procesos pirometalúrgicos de extracción de metales, en minería y en materiales de reciclado desde las etapas de concentración hasta las de refinado y purificación.

10 Antecedentes de la Invención

Los procesos de calcinación, tostado, fusión son procesos pirometalúrgicos habituales para la extracción de metales. Estos procesos requieren tratamientos térmicos que permiten inducir la transformación mineralógica de las menas metálicas mediante reacciones químicas de descomposición, reducción u oxidación. Los procesos pirometalúrgicos requieren una alta demanda energética por que los tratamientos térmicos se aplican al conjunto formado por el mineral de mena y de ganga y las reacciones que se producen no son suficientemente selectivas. Actualmente los tratamientos térmicos son poco comunes en las etapas de concentración y enriquecimiento, se suelen reservar a las etapas más avanzadas de refinado y purificación, aunque estos tratamientos son normalmente complejos y costosos, permiten obtener el metal en un mayor estado de pureza.

Actualmente en la extracción de metales como hierro, níquel, estaño, cobre, oro o plata se suele utilizar alguna etapa con métodos de pirometalurgia. Los métodos metalúrgicos como hidro-, bio-, electro- o piro-metalurgia no cubren completamente las demandas actuales de concentración y transformación de metales en menas complejas polimetálicas o monometálicas con fases poli-minerales, en yacimientos de baja ley, en metales denominados raros, así como en residuos de escombrera, industriales o electrónicos.

La tecnología microondas aplicada a la mineralurgia apareció como un proceso de interés industrial en la década de 1990. Su interés ha ido creciendo con el tiempo (Bobicki et al. "Microwave heating of ultramafic nickel ores and mineralogical effects". Minerals Engineering, 2014, Vol. 58, 22–25). Sin embargo, su aplicación extensiva

está todavía limitada, condicionada sobre todo por los avances en la instrumentación, los materiales de fabricación, la modelización de los aplicadores microondas, y por la heterogeneidad de los minerales y complejidad de las interacciones físico-químicas que se producen con los campos electromagnéticos.

5

Las interacciones de los minerales con los campos electromagnéticos se basan en varios fenómenos, algunos de los cuales no son aun bien conocidos. En metales, los procesos térmicos con microondas se relacionan con el efecto Joule (Yoshikawa, "Recent Studies on Fundamentals and Application of Microwave Processing of Materials. Advances in Induction and Microwave Heating of Mineral and Organic Materials", S. Grundas, Ed., Croatia, Intech Open Publisher, 2011, pp. 1-26). Sin embargo, en otros componentes minerales, ya sean fases originales o fases de transformación mineral formadas durante el tratamiento con microondas, se presentan otros fenómenos como son el dipolar o el iónico, además de otros menos conocidos. Actualmente no existe suficiente conocimiento que explique todos los fenómenos térmicos y no térmicos que se generan durante el tratamiento con microondas.

Los equipos microondas de mayor implantación en la industria son aplicadores multimodo que trabajan en todo el campo electromagnético de las microondas de forma indiscriminada y sin selección de trayectoria de propagación de ondas preferente. Estas soluciones multimodo presentan una distribución de campo electromagnético no homogéneo y una baja densidad de potencia. No permiten concentrar la energía en regiones específicas dentro del aplicador, por lo que presentan una capacidad muy limitada de alcanzar temperaturas de reacción en los procesos industriales. Debido a su mayor sencillez de diseño y operación están más extendidas para otras aplicaciones de más baja temperatura. Por el contrario, las soluciones monomodo de los aplicadores microondas permiten concentrar la energía con suficiente intensidad aunque, debido a su complejidad de diseño y de las variables de las que dependen, actualmente los aplicadores monomodo de alta temperatura están limitados a procesos en discontinuo y a escala de laboratorio. Actualmente estos aplicadores se centran exclusivamente en el calentamiento con la componente eléctrica.

De forma general, aunque el potencial de las microondas es muy grande y en equipos de laboratorio estáticos se han alcanzado temperaturas relativamente altas, las aplicaciones industriales en sólidos quedan aun muy lejos de su capacidad. Esto es particularmente cierto a temperaturas superiores a 600 °C; bien porque el dispositivo es poco eficiente o bien porque el proceso es inestable, de tratamiento heterogéneo y con control insuficiente de las reacciones que se producen. La complejidad del diseño de los aplicadores, filtros, medios de tratamiento en continuo y el aún limitado conocimiento de las interacciones y comportamiento de los materiales con los campos electromagnéticos, limitan su uso.

10

El calentamiento dieléctrico es el más habitual y buscado en microondas, y por tanto es más conocido el efecto de la aplicación del campo eléctrico (campo E) en el tratamiento de materiales. El calentamiento inducido mediante campo E depende de la permitividad dieléctrica compleja de cada material y de la de sus componentes, que es característica y además varía con la temperatura. El calentamiento dieléctrico es eficaz para calentar un gran número de materiales (susceptores) pero cuando hay una gran diferencia en la permitividad dieléctrica compleja de los compontes que forman un compuesto, como es en el caso de presencia de metales muy susceptores con otros muy poco, se producen fenómenos conocidos que generan puntos de sobrecalentamiento ("hot spot") y reacciones descontroladas ("runaway") con demasiada facilidad, lo que dificulta o impide el control de las reacciones y tratamientos homogéneos sobre la gran mayoría de menas metálicas y materiales que contienen metales. Estas diferencias tan grandes, que ocasionalmente se han citado como una ventaja selectiva teórica, resultan ser un grave inconveniente que ha limitado su aplicación industrial e impedido el correcto tratamiento de materiales con menas metálicas con microondas de manera eficaz.

15

20

25

El efecto del calentamiento inducido por la componente magnética de las microondas (campo H) sobre un material es proporcional al parámetro denominado permeabilidad magnética compleja, es también característico de cada material y varía en función de la temperatura. El calentamiento inducido por el efecto del campo H genera nuevas propiedades y proporciona un mayor control del calentamiento en los metales y en las reacciones producidas. Sin embargo, no se conocen en la técnica aplicadores para la industria que trabajen en el campo H dominante para el tratamiento de metales, como se propone en la presente invención.

30

35

La solicitud CN 103447148 refiere a un dispositivo en el que la reducción química del mineral hematites a magnetita, se realiza mediante calentamiento en una cámara en la que se aplica microondas, y que se hace tras un calentamiento previo del material en una cámara de combustión. La transformación química de reducción con calentamiento (denominada tostación) de hematites a magnetita, es de uso tradicional en la industria para permitir su separación magnética de la ganga y su recuperación como mena de hierro, pero en la referida solicitud se aplica energía microondas como fuente de energía.

10

Esta solicitud es diferente del procedimiento anterior porque utiliza un dispositivo que mediante un aplicador realiza directamente una exposición específica a la componente magnética (campo H) de la frecuencia microondas. La exposición específica al campo H permite una transformación de la hematites débilmente magnética a hematites magnética (ferromagnética), sin necesidad de tener que producir una reducción química. Además, cuando se busca un enriquecimiento o un refino, las reacciones químicas inducidas con aditivos susceptores a un campo específico permiten el control y la aplicabilidad del procedimiento en menas polimetálicas.

20

Y además no afecta a la patentabilidad de la invención porque este procedimiento y dispositivos no pueden sugerir la aplicación de la presente invención por que no permite el diseño del procedimiento, ni la separación de las componentes de campo electromagnético, no permite el tratamiento de otros metales distintos a óxidos de hierro y menos aun el de menas polimetálicas para extraer sus componentes metálicos de interés comercial.

25

La solicitud WO 9808989 A1 describe un método de desulfuración por oxidación de pirita con recirculación de los gases generados en un proceso discontinuo en el que se utiliza energía microondas para calentar, y en el que se obtiene hematites y azufre.

30

Esta solicitud es diferente a la presente invención porque ésta describe un proceso y dispositivos de tratamiento que incluye la descomposición no oxidante de los sulfuros, que no está restringido a pirita, sino que incluye a los sulfuros metálicos y

35

polimetálicos, así como a sus posibles mezclas que puedan estar presentes, y que para ello se requiere una exposición específica al campo magnético (campo H) de las microondas en aplicador monomodo, y que en combinación con otras etapas sucesivas en el campo E y E-H permite la obtención de componentes comerciales metálicos y azufre sólido.

No afecta a la patentabilidad porque el método de la solicitud no pueden sugerir un proceso y dispositivos de tratamiento por que no permite la separación de sulfuros metálicos de distintos metales, no permite la extracción y separación de los distintos metales en sulfuros polimetálicos y de combinaciones de otras menas y no permite un procedimiento industrializable en continuo.

La solicitud US4906290 describe un método de tratamiento de menas metálicas para obtener como producto un precursor para etapas posteriores de fundido. El método publicado utiliza menas o concentrados de minerales mezclados con un compuesto carbonoso (carbones de bajo rango) que actúa de reductor a partir de un preparado en forma de pellets utilizando energía microondas. Las menas pueden contener óxidos o bien sulfuros metálicos que una vez secos por la acción de las microondas experimentarán además una reducción general. Utiliza la conocida transformación química de reducción con calentamiento (denominada tostación), de uso tradicional en la industria para concentrar el metal, utilizando la energía microondas para calentar e iniciar la reducción.

Esta solicitud es diferente a la presente invención por que se utiliza una exposición específica al campo magnético (campo H), además de posibilidad de exposición al campo eléctrico (campo E) en etapas distintas, permite un calentamiento diferencial muy selectivo en solo algunos componentes metálicos y produce transformaciones de concentrado hasta niveles de metal elemental. Las etapas de exposición a los campos específicos individualmente permiten el control de proceso, la secuenciación de las reacciones y la separación de los productos obtenidos.

Y además no afecta a la patentabilidad de la invención porque este procedimiento no puede sugerir la aplicación de la presente invención ni de sus dispositivos porque no permite el control de las reacciones por los tratamientos con los campos específicos

de las microondas, la reducción hasta metal elemental y el tratamiento de menas polimetálicas para extraer sus componentes metálicos de interés comercial.

Estas enseñanzas no son suficientes y quedan alejadas para tratamientos en
5 continuo con reacciones selectivas y controladas, en procesos reproducibles a escala industrial en menas complejas polimetálicas y monometálicas poliminerale de baja ley.

La separación magnética es conocida y de uso común en procesos mineros e
10 industriales para concentrar eficazmente minerales magnéticos. Sin embargo, el proceso para obtener una fase con propiedades magnéticas suficientes, partiendo de minerales no separables magnéticamente (diamagnéticos, algunos paramagnéticos), no es sencillo de realizar industrialmente. Esto es debido a que se generan e
interaccionan entre sí múltiples fenómenos térmicos, eléctricos, magnéticos y
15 químicos, que afectan a los componentes de las propias menas y a sus reacciones con las adiciones.

El problema industrial a resolver es poder conseguir un proceso industrializable en continuo que resuelva la extracción de metales en menas complejas polimetálicas y
20 monometálicas poliminerale de baja ley, y que éste sea un proceso rentable y sostenible.

En resumen, aunque se han mencionado potenciales aplicaciones de la energía microondas en los procesos de minerales en enriquecido de algunos metales (hierro, cobre) no es conocida en la actualidad una solución para una gran cantidad de
25 metales, ni tampoco que sea industrial, fiable y robusta, principalmente debido a las limitaciones de escalado, eficiencia y reproducibilidad y control de los campos aplicados, que han impedido su implantación en la industrial. La solución que propone la presente invención permite extraer y concentrar los componentes
30 metálicos de interés comercial a partir de menas polimetálicas o monometálicas poliminerale o de baja ley, a escala industrial y en un procesos continuo.

Descripción de la Invención

La presente invención es un procedimiento selectivo de extracción de metales de un mineral bruto, que comprende una etapa de calentamiento electromagnético de dicho mineral bruto con microondas en campo magnético dominante, o campo H, en aplicador monomodo abierto seguido de una de las dos opciones siguientes:

5

- una etapa adicional de calentamiento dieléctrico con microondas en el campo eléctrico dominante, o campo E, y/o una etapa de calentamiento dieléctrico y magnético simultáneamente con microondas en campo eléctrico y magnético alternante, o campo E-H, ambas en aplicador monomodo;

10

o

- una etapa adicional de calentamiento dieléctrico y magnético simultáneamente con microondas en campo eléctrico y magnético alternante, o campo E-H, y una etapa de calentamiento con microondas en el campo eléctrico dominante, o campo E, ambas en aplicador monomodo;

15

y separación de los productos obtenidos después de cada etapa de calentamiento.

El procedimiento permite operar en continuo, preferiblemente.

En otro aspecto preferible de la invención, dicha separación después de cada etapa de calentamiento es una separación magnética de los productos obtenidos, en frío o en caliente, y gracias a las propiedades magnéticas resultantes del tratamiento. Este separador también puede ser por corrientes de Foucault u otros medios equivalentes. En otro aspecto preferible, dicha separación puede ser por densidad.

25

La extracción de metales se entiende que comprende uno o varios de sus procesos asociados, como concentrado de menas, enriquecimiento de los metales, refinado o purificación. En ellas el mineral bruto sufre transformación selectiva que permite separar y extraer los componentes metálicos de mayor valor generando un nuevo producto.

30

En un aspecto preferible de la invención, dicho mineral bruto contiene una mena polimetálica y/o una mena monometálica poli-mineral. En otro aspecto preferido este mineral bruto es de baja ley. En un aspecto preferido más, dicho mineral bruto son residuos industriales.

35

En el alcance de la presente invención, se entiende por “mineral bruto” a la roca, subproducto minero, residuo industrial o producto intermedio del tratamiento susceptible de ser procesado, que contiene alguna mena metálica además de la ganga y que se encuentra previamente particulado.

5

En el alcance de la presente invención, se entiende por “mena” o “mena metálica” al mineral o agregado mineral de origen natural o artificial, que contiene al menos un metal.

10 En el alcance de la presente invención, se entiende por “menas polimetálicas” al agregado de mineral que contiene más de un metal en sus minerales constituyentes.

En el alcance de la presente invención, se entiende por “menas monometálicas poliminerale” al agregado mineral que contiene un metal que se encuentra en varias
15 fases minerales.

En el alcance de la presente invención, se entiende por “ganga” al mineral o agregado mineral que no contiene metales o que los tiene en una fase que no es aprovechable económicamente.

20

En el alcance de la presente invención, se entiende por “extracción de metales” al proceso mediante el cual se obtiene al menos un componente metálico de interés comercial a partir de un mineral bruto previo de menor valor y comprende al menos una de las etapas de valorización: concentración, enriquecimiento, refinado o purificación.

25

En el alcance de la presente invención, se entiende por “concentración” de una mena al proceso mediante el cual se consigue un aumento de dicha mena respecto a otras menas y a la ganga. Esta concentración no conlleva necesariamente transformación mineralógica.

30

En el alcance de la presente invención, se entiende por “enriquecimiento” de una mena al proceso mediante el cual se consigue un aumento en la concentración de al menos uno de sus componentes metálicos que suele llevar un proceso de transformación del propio mineral.

35

En el alcance de la presente invención, se entiende por “refino” de menas al proceso por el cual se produce un aumento en la concentración de un metal, por eliminación de impurezas.

- 5 En el alcance de la presente invención, se entiende por “purificación” de menas al proceso por el cual se produce un aumento en la concentración de un metal hasta niveles de alta concentración de metal, que es normalmente superior al 85%.

- 10 En el alcance de la presente invención, se denomina “campo magnético dominante” o “campo H” a aquella región del espacio, en la que la intensidad relativa del campo magnético de las microondas representa más del 60% del campo electromagnético total, de tal forma que el mineral recibe la mayor parte de la energía electromagnética como energía magnética.

- 15 En el alcance de la presente invención, el término “monomodo” se refiere a la selección de una de las soluciones posibles del campo electromagnético en la cámara microondas.

- 20 En el alcance de la presente invención se entiende por “aplicador microondas” la parte del sistema en la que se trata el mineral bruto, y que se compone de una cámara microondas y del tramo de la unidad de transporte que atraviesa dicha cámara. El diseño del conjunto formado por la cámara microondas y del tramo de la unidad de transporte determina la selección a la exposición de campo H, de campo E o de campo E-H.

- 25 En el alcance de la presente invención se entiende por “cámara microondas” la estructura de superficie conductora que tiene una geometría interna específicamente diseñada, que confina el campo electromagnético en su interior y define el modo del campo electromagnético.

- 30 En el alcance de la presente invención, se entiende por “aplicador microondas monomodo” a aquel en cuya cámara microondas y mediante el sintonizado, presenta un solo modo del campo electromagnético. Una particularidad de este aplicador es que sea resonante, entendiéndose por “resonante” cuando la onda de uno de los campos
35 electromagnéticos está en fase.

En el alcance de la presente invención, se entiende por “aplicador microondas monomodo abierto” a aquel que dispone de aperturas suficientemente amplias como para permitir la entrada y salida del material bruto y de su medio de transporte.

5

En el alcance de la presente invención, se denomina “campo eléctrico dominante” o “campo E” a aquella región del espacio, en la que la intensidad del campo eléctrico de las microondas representa más del 60% del campo electromagnético total, de tal forma que el mineral recibe la mayor parte de la energía electromagnética como energía eléctrica.

10

En el alcance de la presente invención, se entiende por “campo eléctrico y magnético alternante”, o “campo E-H” a aquella región del espacio en la que el mineral se somete a una secuencia de máximos de campo H y de campo E de forma alternantes y consecutivos en aplicador microondas monomodo.

15

Las adiciones de agentes susceptores que actúan como reductores, así como sales reactivas y gases en atmósferas controladas permiten completar el diseño del proceso para separar las fases de interés. De forma que otro aspecto preferible de la invención comprende la adición de carbono como componente reductor a dicha mena particulada, previo a cualquier etapa de tratamiento microondas. Muy preferiblemente, dicho carbono es grafito, humatos, negro de humo, o carbonatos. Otro aspecto preferible es que el procedimiento se realice en atmósfera controlada, más preferible aún en una atmósfera anóxica en presencia de N_2 o CO_2 .

20

En el alcance de la presente invención, se entiende por “atmósfera controlada” un ambiente en donde se ha modificado la composición gaseosa a la que se expone el mineral bruto durante el tratamiento en el aplicador microondas monomodo abierto mediante aportes externos de gases inertes o con gases reactivos conocidos.

30

En el alcance de la presente invención, se entiende por “atmósfera anóxica” un ambiente en que la presión parcial de oxígeno es equivalente a cero.

Durante el tratamiento del mineral bruto con sulfuros en una atmósfera anóxica se produce azufre. De forma que un aspecto preferible más comprende una etapa de

35

extracción de azufre elemental por condensación o solidificación de los gases extraídos de esta atmósfera anóxica. Para ello se pueden adicionar previamente sales alcalinas, alcalinotérreas y de amonio previamente, para generar componentes metálicos desulfurados y sulfatos recuperables. Así, el aspecto más preferible comprende una
5 etapa adicional de producción directa de azufre elemental de alta pureza mediante un proceso en continuo a partir de los gases fríos (inferior a 120 °C) extraídos del aplicador monomodo abierto.

Otro aspecto preferido del proceso es la aplicación adicional de un campo magnético
10 estático externo a alguna o a todas las etapas de tratamiento microondas. Este campo adicional mantiene la magnetización en el mineral y mejora la conservación de la magnetización resultante desde el final del calentamiento y durante el enfriamiento hasta alcanzar la temperatura de Curie o de Néel del componente mineral metálico. En los minerales menos sensibles al campo magnético se hace una separación magnética
15 inmediata en caliente. El procedimiento puede comprender el acoplamiento de imanes o electroimanes que se emplazan en el extremo de salida del aplicador y en la zona de enfriamiento para conservar la magnetización resultante en el mineral.

En otro aspecto preferible, el mineral bruto transita a través de un tubo contenedor de
20 movimiento rotativo. Este tubo que transporta el mineral tiene un comportamiento dieléctrico refractario poco susceptible de microondas.

En otro aspecto preferible más, el aplicador microondas monomodo comprende filtros de radiación en los extremos de entrada y salida. Estos filtros confinan las microondas
25 en el interior del aplicador y evitan las fugas.

En el alcance de la presente invención, se entiende por “filtro de radiación” a un dispositivo capaz de retener la radiación, manteniendo el nivel de fugas dentro de los límites legales, de acuerdo con las especificaciones de la Directiva CE 2004/40.

30 Una aplicación muy preferible de la presente invención es un proceso en continuo basado en la aplicación de campos electromagnéticos selectivos (campo E y campo H) o simultáneos alternantes (campo E-H) a frecuencias de microondas entre 3 kHz y 300 GHz, correspondientes a las denominadas como bandas ISM (Industrial, Scientific and

Medical). En un aspecto preferible más, la frecuencia de uso son las centradas en 2,45 GHz, 915 MHz, 433,92 MHz.

5 El efecto térmico de cada uno de los campos produce un calentamiento selectivo del mineral que alcanza alta temperatura (normalmente entre 300 y 1500 °C) y produce en él cambios como descomposición, reducción, oxidación, recristalización, fusión, etc, así como otros que no afectan a la fase mineral, por ejemplo cambios en los momentos magnéticos.

10 El uso de una secuenciación de campos electromagnéticos (campo H, campo E-H alternante y campo E), con un campo magnético estático y opción de separación magnética en caliente en un dispositivo en continuo supone la posibilidad de abordar tratamientos imposibles hasta ahora, obteniendo una especificidad según el componente y permitiendo el control de las reacciones.

15

El potencial de la invención está fundamentado en la capacidad de realizar un proceso selectivo, es decir, en la posibilidad de poder generar un orden de reacciones y comportamientos que afectan de forma distinta a los diferentes componentes, así como que sea predecible, es decir con la posibilidad de diseñar un proceso. El diseño del
20 proceso se hace en virtud de las propiedades magnéticas en la frecuencia microondas (permeabilidad magnética compleja) y de las propiedades dieléctricas (permitividad dieléctrica compleja) del mineral bruto y de sus componentes constituyentes que confieren la variabilidad polimetálica, poli-mineral y de ganga del mineral bruto.

25 En el campo de esta invención, la energía que se utiliza para iniciar las reacciones y para generar cambios de propiedades en los componentes minerales la aporta la exposición específica a uno de los campos de las microondas. La exposición al campo electromagnético de las microondas se hace en el campo magnético (campo H), o en el campo eléctrico (campo E) o en una sistema que alterna máximos de campo E y
30 máximos de campo H (campo E-H) según cual sea el fenómeno que se desea potenciar.

A manera de ejemplo se puede exponer, de forma general, que el efecto de la permeabilidad magnética compleja de un componente se manifiesta de forma más
35 eficaz cuando se expone al campo H. Así, si la componente imaginaria de la

permeabilidad magnética compleja de un material es alta, sugiere un calentamiento (o activación) más eficaz con el campo H, de forma que aquellos materiales que tienen una componente imaginaria muy baja sufren un calentamiento (o activación) mucho más leve. En un material compuesto se manifiesta que unos se calientan (o activan) de
5 manera distinta y diferencial con respecto a los otros. Aunque con notables diferencias esto ocurre así también con la permitividad dieléctrica compleja.

El campo H ejerce un efecto más selectivo sobre el mineral bruto que contiene menas complejas, por lo que tiende a producir reacciones más fácilmente controlables (ej. con
10 menos evidencias de fenómenos de sobrecalentamientos puntuales indeseados), por lo que muchas reacciones que no son posibles en un campo E si lo son en un campo H. El campo E-H, es también selectivo para algunos casos respecto al campo E y al H. La configuración del proceso y de la secuencia de las etapas con campos específicos (campo H, campo E o campo E-H), permite predecir y seleccionar las reacciones de
15 interés exclusivamente sobre determinados minerales.

Para un diseño eficaz es conveniente determinar las propiedades de permitividad dieléctrica y permeabilidad magnética complejas del mineral bruto, de sus componentes, y de los productos de reacción a las temperaturas a las que se vayan a
20 tratar, con la finalidad de obtener agrupaciones (clusters) de comportamiento frente a los campos H y E.

La granulometría del mineral bruto es también una variable. Se ha trabajado con material de tamaño fino impalpable ($<0,063$ mm), pero dependiendo de la textura del
25 grano se pueden obtener buenos resultados con tamaño de grano de varios milímetros (<12 mm), y en material aglomerado.

En la presente invención se entiende por material aglomerado al material particulado que ha sido tratado previamente mediante procesos de granulación (ej. pellets, atomizados).
30

Los productos obtenidos a partir de los distintos procesos de tratamiento aplicados son concentrados diferenciados de la familia de los antiferromagnéticos (ej. ilmenita), ferrimagnéticos (ej. magnetita, maghemita, pirrotina), ferromagnéticos (ej. Fe, Co, Ni, hematites ferromagnética), paramagnéticos (ej. wolframita, pirita, siderita, Al, Pd,
35

hematites paramagnética), diamagnéticos de alta conductividad (ej. Ag, Au, metales del grupo del platino), diamagnéticos de baja conductividad eléctrica (ej. Pb) y diamagnéticos no conductores (ej. cuarzo, calcita, así como la mayor parte de los componentes que forman la ganga).

5

El procedimiento más preferible de la invención comprende el flujo continuo de mena particulada polimetálica o monometálica polimineral en el aplicador microondas monomodo con posibles adiciones de agentes reductores y de sales reactivas. La mena particulada fluye por un tubo rotativo acoplado según su eje longitudinal a la cámara microondas monomodo, preferentemente de sección rectangular o circular que trabaja en frecuencias de 2,45 GHz, 915 MHz, o 433,92 MHz. Dicha mena se expone a una atmósfera controlada, y de los gases sulfurados generados se produce azufre elemental mediante la unidad de captación de azufre. La potencia microondas aplicada al mineral, así como la temperatura alcanzada y el tiempo de tratamiento se controla en tiempo real mediante sensores de impedancia, de potencia y de temperatura, que aportan la información necesaria para poder accionar actuadores para el sintonizado y para el control del flujo del mineral con ajustes en la alimentación y en la velocidad de rotación, inclinación y vibración del tubo. El aplicador microondas monomodo contiene la cámara con una geometría interna precisa, la cual determina el modo del campo y su distribución. La cámara contiene una Unidad de Sintonización incorporada que adapta la geometría de dicha cámara para sintonizar la frecuencia de trabajo en tiempo real. De esta forma, la frecuencia y el modo obtenido dentro de la cámara se mantienen constantes dentro de los parámetros seleccionados durante el tratamiento ante las posibles variaciones, que se puedan producir por cambios de caudal, de composición, de temperatura o por las transformaciones producidas en el mineral. Esto permite controlar y aplicar los máximos de campo en el tramo de la unidad de transporte del aplicador por el que fluye el mineral bruto, que en unos casos será de campo H, en otros de campo E y en otros de campo E-H. El tramo del tubo de transporte del aplicador es un dieléctrico refractario poco susceptible de microondas. El mineral bruto tratado en el aplicador se expone a un campo magnético estático que se mantiene durante un tramo de la zona de enfriamiento mediante imán (o electroimán) acoplados. Un enfriamiento rápido bajo el campo magnético estático favorece el mantenimiento del magnetismo en el mineral tratado. Los filtros situados a la entrada y salida del aplicador confinan la energía microondas en la cámara y evitan fugas. El diseño de las transformaciones en el mineral se consigue combinando el tipo de campo con

35

- inductores de reacciones, que son la atmósfera controlada (oxidante, anóxica, reductora), los compuestos reductores (grafito, humatos, negro de humo, carbonatos) y las adiciones de sales reactivas (sales alcalinas, alcalinotérreas y de amonio). Las fracciones magnéticas obtenidas se separan mediante un separador magnético a
- 5 temperaturas bajas ($<80^{\circ}\text{C}$) o bien en caliente, según sus propiedades de susceptibilidad magnética, y las fracciones densas se separan mediante un separador de densidad. Cada uno de los tratamientos caracterizado por la naturaleza del mineral, el campo microondas monomodo aplicado, la atmósfera controlada, las adiciones reductoras, las adiciones de sales reactivas y el mantenimiento del campo magnético
- 10 estático, define una etapa que es previa a la separación de fracciones. La consecución de varias etapas de tratamiento configura el proceso que permite la extracción de metales a partir de menas complejas, de las que se extraen subproductos valorizables en etapas intermedias del procedimiento (ej. mena concentrada) o bien en etapas más avanzadas (ej. nuevos transformados de alta concentración metálica) o finales con
- 15 mayor grado de pureza (ej. metal purificado). Un ejemplo de ello sería que a partir de un polimetálico que contiene wolframita, se obtiene una etapa de concentrado de wolframita como subproducto valorizable, y en una siguiente etapa de enriquecimiento se obtiene WO_3 , y en una posterior de purificación se obtendría W.
- 20 En conclusión, la presente invención es un procedimiento y dispositivo metalúrgico de extracción de metales que se realiza en etapas consecutivas con tratamiento en uno de los modos de una de las de las componentes del campo electromagnético de las microondas (campo H, campo E, campo E-H alternante) que se aplica con alta densidad de potencia del campo seleccionado sobre el mineral bruto y posibles
- 25 adiciones, y que permite alimentación y tratamiento del mineral bruto en flujo continuo. Tras cada etapa se hace la separación mediante separador magnético, y en algún caso se complementa con separador por densidad. Cada uno de estos campos actúa sobre los componentes en distinta forma, siendo el campo H más selectivo que el campo E, y causan sobre los minerales efectos de transformación
- 30 física y química por sí solos o mediante aditivos para fomentar exactamente las reacciones buscadas.

La selección del campo más apropiado se realiza según las propiedades de permeabilidad magnética y de permitividad dieléctrica complejas del mineral bruto,

35 de sus componentes constituyentes, de las posibles adiciones y así como de los

productos de reacción. Con estos parámetros, se obtienen agrupaciones (o clusters) de los componentes que permiten identificar el tipo de campo a aplicar en el tratamiento por cada etapa (campo H, campo E, campo E-H), las adiciones necesarias, y definir las etapas para un tratamiento completo y, en definitiva, el
5 diseño del proceso. El campo H, es más selectivo, con inducción de reacciones más controlables, y genera magnetización a temperaturas más bajas que se complementa bien con etapas de procesos de campo E.

Por su configuración el proceso es industrial, tanto por la escala como por robustez
10 del propio tratamiento. Es en continuo, gracias al uso de aplicador monomodo abierto, es flexible, por su capacidad de adaptarse al tipo de mineral bruto, es también modular, porque se puede realizar con dispositivos portables y es además un tratamiento en seco. Otra de las grandes ventajas es que ofrece un control adaptativo del proceso, lo cual es posible gracias al sistema de control en los
15 aplicadores monomodo, lo que lo hace energéticamente muy eficiente.

El proceso de la presente invención puede ser compatible con otros procesos existentes y ofrece ventajas como tratamiento previo a tratamientos por hidrometalurgia, así como en aprovechamiento de los residuos que ésta puede generar.

20

Por lo tanto, la presente invención permite diseñar cada proceso según el problema a resolver y permite resolver problemas mineros complejos actualmente sin una solución eficaz. Ofrece unas aportaciones relevantes al avance industrial, con la disponibilidad de unos procesos capaces de resolver problemas de tratamiento de extracción de
25 metales en menas complejas, como las polimetálicas, o con baja ley no rentable actualmente, o en fases minerales no adecuadas para otros métodos, como puedan ser los sulfuros, así como la capacidad de hacer tratamientos en mineral bruto muy ricos en metales con microondas, que actualmente presentaba severas limitaciones. Además ofrece soluciones a la combinación de varios de estos problemas, que se potencia por
30 la capacidad de ser un proceso muy selectivo. Debido a la capacidad de los distintos procesos consecutivos, se pueden hacer desde una concentración de menas en mineral extraído de mina hasta incluso aplicar a etapas de refino y purificación.

35 **Breve descripción de las Figuras**

Figura 1: Gráficas de ensayos de medidas de permitividad dieléctrica compleja (constante dieléctrica y factor de pérdidas) durante el calentamiento microondas.

Figura 1a. Sulfuros polimetálicos ricos en pirita tratados en atmosfera oxidante (aire) manifestando valores muy altos de la constante dieléctrica y factor de pérdidas entre 450 y 750 °C.

Figura 1b. Sulfuros polimetálicos ricos en pirita tratados en atmosfera inerte (N₂) que muestran un incremento muy rápido en el valor de la constante dieléctrica a partir de los 370 °C, con un máximo de 16,5 a los 430 °C y un descenso muy brusco a los 440 °C hasta 0, registrando en el sensor valores negativos. El factor de pérdidas muestra valores inferiores a 2,5 hasta los 400 °C, a partir de esta temperatura se produce un incremento brusco del factor de pérdidas hasta los 450 °C registrando un valor de 38, a partir de la cual baja hasta valores próximos a 5 en el entorno de 650-750 °C. Los datos negativos registrados a partir de los 450 °C de la constante dieléctrica se asocian a una respuesta de un material de comportamiento metálico.

Figura 1c. Óxidos de hierro no magnéticos ricos en hematites tratados en atmósfera inerte (N₂) que presentan un cambio significativo durante calentado que no se recupera durante el enfriamiento. Esto indica cambios físicos (comportamiento magnético) que sin embargo no han llevado asociado un cambio mineralógico. Esto evidencia el cambio de hematites paramagnética a hematites ferromagnética.

Descripción de leyenda: Curva de trazo discontinuo con punto sólido, constante dieléctrica (ϵ'); curva de trazo continuo con punto hueco, factor de pérdidas (ϵ''); curva con símbolo x, constante dieléctrica durante enfriamiento después del tratamiento microondas; curva con símbolo +, factor de pérdidas durante enfriamiento.

Figura 2: Dispositivo general de una etapa.

Figura 3: Dispositivo compuesto de una secuencia en línea con 3 etapas de tratamiento.

Figura 4A: Realización del dispositivo con inyección de nitrógeno en mineral bruto que contiene menas con sulfuros.

Figura 4B: Detalle la unidad de recuperación de azufre de una parte de la figura 4A.

Descripción detallada de la invención

Preferiblemente y sin carácter limitativo, un sistema para llevar a cabo el tratamiento propuesto puede comprender los siguientes componentes:

- 1) Unidad de alimentación
- 2) Unidad de transporte
- 3) Unidad de generación y distribución de potencia microondas
- 4) Aplicador microondas monomodo
- 5) 5) Unidad de sintonización
- 6) Filtros
- 7) Imán (o electroimán)
- 8) Unidad de adición de gases
- 9) Unidad de captación de azufre
- 10) 10) Unidad de enfriamiento
- 11) Unidad de control
- 12) Separador de mineral tratado

A continuación se explican en mayor detalle.

15

1) La unidad de alimentación, está compuesta por una tolva con salida regulable para controlar el volumen de mineral bruto que pasa a la unidad de transporte por vibración, o por tornillo, según el caudal de trabajo y la granulometría del mineral. Se ha preferido vibración en el dispositivo que trabaja a 2,45 GHz, por tener caudal superior a 2 kg/h y de tornillo, en el de 915 MHz, por tener caudales superiores a 15 kg/h.

20

2) La unidad de transporte permite el flujo del mineral bruto desde la unidad de alimentación, a través del aplicador y del campo magnético estático, hasta la salida de la zona de tratamiento. Consta de actuadores de giro, mecanismo de variación de inclinación y vibrador mecánico además de otros sistemas auxiliares, que facilitan el flujo continuo y minimizan las acumulaciones y la adhesión del mineral bruto a las paredes del elemento de transporte. Dicha unidad se acciona mediante la unidad de control.

25

El movimiento rotativo mediante en el tubo se realiza mediante un motor de giro acoplado y que se apoya sobre rodamientos. Este movimiento asegura la homogeneización en sección transversal del mineral bruto durante el tratamiento en el aplicador. Velocidades de entre 1 y 50 rpm han sido suficientes para las situaciones tratadas.

30

3) La unidad de generación y distribución de potencia microondas, emite microondas en una banda de frecuencia determinada con un potencia suficiente, y alimenta al aplicador a través de una guía de ondas. Se compone de fuente de alimentación, cabezal de magnetron, elementos de protección y guía de ondas. Las potencias de trabajo más habituales, según las prestaciones más comunes de los propios generadores microondas actuales en 2,45 GHz son superiores a 0,5 kW y hasta 12 kW y en 915 MHz son superiores a 10 kW y hasta 200 kW. En el equipo de microondas de 2,45 GHz se usa la guía de ondas tipo WR340 con una sección estándar de 86,36 x 43,18 mm. En la frecuencia de 915 MHz se emplea la guía de ondas WR975 con sección estándar de 247,65 x 123,82 mm.

4) El aplicador microondas monomodo es el lugar donde se aplica la energía microondas al mineral para su tratamiento. Se compone de dos elementos: la cámara microondas monomodo y el tramo de la unidad de transporte del aplicador, que traslada el mineral bruto mientras se somete a la energía microondas. Tiene unas aperturas (de entrada y salida) suficientemente amplias como para trabajar en abierto y permitir el flujo continuo de mineral.

4.1) La cámara microondas monomodo está construida en metal de suficiente conductividad eléctrica, durabilidad y resistencia térmica (ej. acero), tiene diseño específico de geometría precisa (preferentemente de sección rectangular o circular). Alberga 2 de los elementos de la unidad de sintonización que son: el cortocircuito deslizante ajustable que regula la geometría de la cámara y el iris ajustable. La cámara está protegida con aislantes térmicos cerámicos porosos muy poco susceptibles y lleva acoplada una unidad de refrigeración externa.

4.2) El tramo de la unidad de transporte del aplicador contenido en la cámara microondas que es accionado y que permite rotación y vibración. Está constituido por un material dieléctrico refractario poco susceptible de microondas. En otra configuración una parte de la cámara es móvil y permite un movimiento solidario con el tubo de transporte.

5) Unidad de sintonización que sintoniza y adapta la frecuencia del modo electromagnético en dicha cámara para que se mantenga a la frecuencia de emisión del generador microondas y dentro de un intervalo definido. Dicha unidad se controla con la

unidad de control. Los elementos de sintonización y adaptación principales son: el cortocircuito deslizante ajustable, que regula la geometría de la cámara, el iris ajustable y el acoplador de impedancia para adaptar la señal al mineral bruto y maximizar la energía absorbida.

5

6) Los filtros son componentes que se emplazan adyacentes a la entrada y a la salida del aplicador. Ejercen un efecto de barrera a la transmisión de las microondas y evitan que la energía microondas se disipe fuera del aplicador, lo que permite su configuración en abierto. Están fabricados en material conductor eléctrico (ej. acero, aluminio) y tienen una geometría específica para cada frecuencia de trabajo.

10

7) Imán (o electroimán) para el manteniendo de la magnetización resultante tras la acción de las microondas sobre el mineral bruto tratado durante su enfriamiento. Se emplaza adyacente al tubo de transporte en zona de enfriamiento y posterior al aplicador, pero según el efecto deseado se aplica también en la parte terminal del aplicador. Cuando son electroimanes su acción se controla mediante la unidad de control.

15

8) La unidad de adición de gases, permite incorporar gases dentro del aplicador para trabajar con atmósferas controladas. Consta de contenedor de gas (bombona), inyector, válvulas de presión y caudal. La inyección se realiza en el aplicador a través del tubo de transporte desde uno de sus extremos, con dominio del flujo de gas en sentido de flujo del mineral bruto. Unas ventanas móviles limitan las aperturas de aire en los extremos del tubo de transporte para asegurar un ambiente saturado y controlado en la zona del aplicador. Las presiones de trabajo son próximas a las atmosféricas.

20

25

9) La unidad de captación de azufre permite la obtención de azufre como producto recuperado y valorizable a partir de las transformaciones producidas por el tratamiento microondas en minerales que de origen contengan S en forma de sulfuros. Consta de un extractor, que se acopla en uno de los extremos del aplicador que desplaza el gas frío (se halla a temperatura inferior a 120 °C) a un intercambiador térmico, en el que se enfría para precipitarlo como azufre sólido próximo a temperatura de fusión y que cae a un depósito que lo vuelve a calentar hasta temperatura de 120-150 °C desde donde se vierte a los depósitos finales como S elemental. Unos elementos de extracción de gases con filtros captadores de SO₂ se encargan de evitar riesgos de emanaciones de este

30

35

gas a la atmósfera. La unidad de captación de azufre está comandada por la unidad de control.

5 10) Unidad de enfriamiento. Hacia el extremo de salida del aplicador se acopla un elemento de refrigeración forzada por aire que se encarga enfriar el mineral bruto por debajo de la temperatura de cambio de propiedades magnéticas y mantener la magnetización resultante dentro de la acción de los imanes. Cuando se requiere separación magnética en caliente no actúa.

10 11) Separador. El dispositivo se complementa con un separador magnético y con un separador por densidad.

El separador magnético, realiza las operaciones de separación magnética de los componentes del mineral bruto de acuerdo con sus propiedades de susceptibilidad magnética. Según las relaciones de susceptibilidad magnética se utiliza separador de
15 imán permanente, de rotor inducido, de tambor o incluso de Foucault o una separación en varias etapas. La separación en caliente se prefiere en minerales poco sensibles al campo magnético estático.

20 12) La unidad de control se encarga de comandar el proceso de cada una de las unidades y de su integración en el proceso. Consta de unos sensores que reciben la información de proceso y mediante una lógica de control, a través del controlador lógico programable, accionan los actuadores correspondientes.

Se dispone para completar el proceso de sensores en todo el sistema: temperatura en varios puntos del proceso, velocidad de rotación, inclinación, sensor de masa, de
25 campo magnético, de presión, de caudal de gases, caudal de agua de refrigeración, de potencia eléctrica, sensores de radiación microondas ambiental, sensores de campo magnético y otros sensores accesorios.

Cada familia de mena polimetálica o monomineral polimetálico requiere una programación condicionada por las secuencias de los tratamientos para que se
30 produzcan las reacciones físicas y químicas diseñadas.

Los sensores y actuadores que constituyen la unidad de control son los siguientes:

- Controlador de la unidad de alimentación. Dispone de sensores de masa y actuadores de accionado de salida de tolva, velocidad de vibración (o de caudal en caso de tornillo).

- Controlador de la unidad de transporte. Dispone sensores de temperatura y de actuadores de velocidad de rotación, de vibración y de inclinación.
- Controlador de la unidad de generación y distribución de potencia microondas. Dispone de sensores de temperatura para protección del generador y actuadores para variación de la potencia microondas aportada.
- Controlador del aplicador. El proceso en el aplicador requiere de sensores específicos y propios para la media de impedancia y de potencia, los cuales son muy sensibles a los cambios del mineral, que se combinan con sensores de temperatura (tipo pirómetro), y que mediante la unidad de sintonización permite un control adaptado en tiempo real. Se compone de los siguientes elementos de instrumentación:
 - o Sensor de impedancia.
 - o Sensor de potencia microondas emitida y reflejada en tiempo real.
 - o Sensores de temperatura tipo sonda de contacto y tipo pirómetro.
 - o Actuadores de los componentes mecánicos de la unidad de sintonización en tiempo real que mantienen la frecuencia microondas sintonizada y adaptada.
 - o Actuadores de potencia microondas.
- Controlador de inyección de gases. Dispone de sensores de caudal, presión de gases, temperatura, y de actuadores de apertura y cierre de gases.
- Controlador de captación de azufre. Dispone de sensores de presión en varios puntos del circuito, temperatura de ambiente y del azufre líquido, de caudal de gas y de líquido, y actuadores para circuito de enfriamiento y para los elementos de calor.
- Controlador de la unidad de enfriamiento. Dispone de sensor de temperatura y de caudal de aire.
- Controlador de electroimán (o imán) de campo magnético estático. En caso de electroimán se actúa por paso de corriente.
- Controlador del separador magnético.
- Controlador del separador por densidad.
- Controlador de seguridad. Integra a todos los elementos de alarma de seguridad ambiental, de operación y de seguridad laboral incluidos en el proceso y actúan para corregir o paralizar el proceso en caso de riesgo de seguridad identificados. Dispone de sensores adyacentes a los extremos de los filtros (aberturas del

aplicador) con alarmas de fuga de radiación microondas, de emisión de gases (SO_x , NO_x), de campos magnéticos residuales y de seguridad eléctrica.

5 El dispositivo se ha diseñado para ser flexible y modular y permite fácilmente su montaje en línea según la complejidad de las etapas. También permite una disposición de batería de aplicadores para poder alcanzar órdenes del centenar de kilogramos por hora.

10 A continuación y con referencia a las figuras 2-4 se describen varias realizaciones sin carácter limitativo.

El dispositivo para el procesado en flujo continuo de mineral bruto que contiene menas metálicas consiste en la integración de tres partes fundamentales: componentes relacionados con el aplicador microondas, componentes de la unidad de transporte y
15 sistemas auxiliares, y componentes de la unidad de captación de azufre.

En la Figura 2 se aprecia una realización del dispositivo que trata menas metálicas con microondas y consta de un aplicador microondas monomodo abierto (en cualquiera de los campos del alcance de la presente invención) que está formado por una cámara
20 microondas (1), de sección rectangular o circular fabricada de metal con suficiente conductividad, durabilidad y resistencia térmica (ej. acero), más el tramo del tubo de transporte (7) que atraviesa la propia cámara. Al aplicador se le acopla un generador microondas cuya onda se transmite mediante una guía de ondas (3). La frecuencia del modo en el interior de la cámara (1) se sintoniza mediante una unidad de sintonización
25 (4). Dos filtros (2) acoplados en sendos extremos de la cámara microondas (1) impiden la fuga de microondas y permiten el movimiento de un tubo (7) rotativo que hace de elemento contenedor y de transporte del mineral bruto. La unidad de control incluye sensores de impedancia y de potencia emitida y reflejada (5) en tiempo real que se acoplan a la guía de ondas.

30

El proceso se controla adicionalmente mediante sensores de temperatura (6), pirómetros que miden la temperatura en los puntos clave dentro y fuera del tubo, y termopares que controlan las temperaturas externas.

El tubo (7) es dieléctrico y se dispone a lo largo del aplicador. Así permite que el mineral bruto contenido en él, se desplace durante el tratamiento, lo que hace gracias a que gira según su eje longitudinal cuando está inclinado. Un conjunto de rodamientos fijan el tubo y permiten su rotación accionado mediante motores de rotación (8) de velocidad variable que se integran en un bastidor (10) el cual se aísla de la estructura mediante “silentblocks”. Un motor de vibración (9) genera la vibración al sistema de transporte utilizado principalmente para evitar el apelmazamiento dentro del propio mineral bruto y la adhesión al tubo. El sistema de aislamiento de vibraciones comentado “silentblocks” evita que la vibración generada sobre el tubo rotativo se transmita también sobre las partes sensibles del sistema como son los motores, sensores y generador microondas.

Tanto el tubo (7), el mecanismo de rotación y vibración, así como los componentes del aplicador microondas se acoplan con el bastidor (10) que permite la inclinación precisa según un ángulo variable (α). La velocidad de flujo del mineral bruto se controla mediante la velocidad de rotación del tubo, la inclinación y la vibración. A su vez, la velocidad de avance necesaria del mineral bruto se determina mediante sensores principalmente, de impedancia, sensores de potencia emitida y reflejada, de temperatura y de caudal (masa) de mineral bruto.

El alimentador (11) controla el flujo de entrada del mineral bruto.

A la salida del aplicador microondas el mineral se separa según sus propiedades magnéticas mediante un separador (12). Estas propiedades se pueden potenciar en caliente con un campo magnético estático adicional (imán o electroimán) que se acopla en la parte externa del tubo y aplicador, y que se coloca en la parte final del aplicador o/y fuera de él (13).

Por sencillez de la figura no se han reseñado la unidad de enfriamiento de la muestra y la unidad de refrigeración del aplicador.

En la Figura 3 se muestra un montaje en línea de dispositivos modulares que constituyen una agrupación de aplicadores. Tras una etapa de tratamiento, el mineral bruto se recoge en una posterior tolva (11B) que puede llevar aislamiento térmico, que no suele ser necesario en la primera (11A), que lo introduce en el siguiente módulo aplicador en serie. Este segundo módulo aplicador va a tener distinta configuración de

campo eléctrico y magnético que el anterior y que trata la muestra de forma significativamente distinta a la anterior. Este paso se repite una o varias veces con distintas configuraciones de campo y a distintas temperaturas de proceso hasta completar las fases de transformación y separación. Cada módulo es independiente del
5 resto con su propia velocidad de giro y de inclinación (β , γ) según su comportamiento reológico. El sistema de separación magnético (12) se puede complementar con un separador adicional por densidad, por propiedades eléctricas por propiedades ópticas, o de otro tipo que se le pueda acoplar.

10 Los gases producidos durante el tratamiento del mineral bruto se recogen para valorizarlos.

En la Figura 4A se puede apreciar una realización en atmósfera controlada anóxica que permite evitar la formación de óxidos de azufre como producto gaseoso. En este
15 proceso el gas, generalmente N_2 , se aplica por una de las aperturas del tubo en forma de inyección que produce una presión positiva y actúa por desplazamiento del aire. La recogida del gas se hace por succión mediante un sistema de captación (14) de azufre gaseoso que transporta el gas al sistema de precipitado (15), estos dos sistemas pertenecen a la unidad de captación de azufre.

20

En la Figura 4B se puede ver en detalle parte de la realización con atmósfera anóxica, en un ejemplo con flujo de gas en sentido opuesto al flujo del mineral bruto. El sistema de captación (14) tiene una tapa de cierre (16). El movimiento del tubo en el aplicador
25 se realiza mediante un sistema de rodamientos, cojinetes o similar (17). En esta tapa se inserta un conducto de salida (18) que extrae gas rico en azufre gaseoso y el conducto de entrada (19) de gas, así como el sistema de medida de presión (20). El gas extraído se procesa mediante la unidad de captación de azufre que consta de un intercambiador de calor (21) donde los gases de azufre se enfrían para dar su forma sólida o líquida y
30 se recogen en un depósito (23). Para mejor manipulación se puede mantener en fase líquida durante su transporte, lo que se regula mediante un sistema de calefacción (24) que mantiene la temperatura entre 120 y 150 °C. Los gases de escape se lanzan al aire a través de un filtro (22) de captación o catálisis de SO_x .

35

Ejemplos

Con la intención de mostrar la presente invención de un modo ilustrativo aunque en ningún modo limitante, se aportan los siguientes ejemplos.

- 5 Para diseñar el proceso se hace una relación de los componentes constituyentes y de los componentes resultantes esperados y fases intermedias de la mena poli-metálica o poli-mineral. Con estos componentes se efectúan las relaciones de permitividad dieléctrica compleja y la de permeabilidad magnética compleja con lo que se obtienen familias de comportamiento diferenciable, lo que permite diseñar el proceso para
10 modificar las propiedades magnéticas y producir transformaciones mineralógicas que permitan obtener el producto valorizado.

Las muestras que constituyen el mineral bruto de cada ejemplo son composiciones habituales en la naturaleza y en residuos mineros.

15

- Las muestras de partida y los productos obtenidos fueron estudiados mediante análisis químico, con técnicas de fluorescencia de rayos X, con plasma acoplado inductivamente de espectrometría de masas (ICP-MS) y óptico (ICP-OES) y microsonda electrónica (MEP), y mineralógico mediante difracción de rayos-X (DRX), microscopio
20 electrónico de barrido (SEM) y microscopio petrográfico. Los resultados de los análisis de los ejemplos se han referido % en peso.

- Los tratamientos de los siguientes ejemplos se han realizado con aplicadores monomodo abiertos con configuración resonante, tubo de vidrio de cuarzo con
25 componentes de nitrato cerámico, sintonizado automático controlado por software. La alimentación se realizó con alimentador de vibración con tolva acoplada. En el ejemplo 1, la alimentación se realizó con alimentador de tornillo apoyado con vibración.

- Ejemplo 1: Concentración por magnetización en aplicador de campo H**
30 **dominante: Caso de hematites a hematites magnética sin cambio mineralógico en menas de hierro.**

- Se utilizó un mineral bruto que contiene mena de hierro particulada a un tamaño de grano $<0,125$ mm con contenido total de hierro del 56%. De esta cantidad de hierro (Fe)
35 el 41%, se encuentra en forma de hematites, y el resto en forma de magnetita

($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), de goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$) y de siderita (FeCO_3). El resto de los componentes forman la ganga constituida por cuarzo y feldespatos.

El mineral bruto fue procesado en un dispositivo microondas en continuo con configuración de aplicador monomodo abierto de campo H. Se trabajó en la frecuencia de 915 MHz en un aplicador de campo H de 28 cm de longitud y diámetro de 80 mm, trabajando con un caudal de 25 kg/h, utilizando un generador de 75 kW de potencia instalada hasta un calentamiento de la muestra que alcanzó los 690 - 810 °C medido con pirómetro, midiendo desde el extremo abierto de salida del tubo. Seis imanes de 1,2 teslas se colocaron en la parte terminal y hasta 60 cm fuera del aplicador para asegurar mantener la magnetización resultante durante el enfriamiento, que se realizó con aire. El mineral bruto tratado fue pasado por un separador magnético (modelo Frantz), obteniendo un concentrado con un contenido superior al 67% de hierro en forma de hematites ferromagnética y trazas de magnetita. El resto de ganga con un contenido de hematites de menos del 8% en peso se desechó.

Ejemplo 2: Concentración y enriquecimiento de mena monometálica polimineral de hierro. Descomposición de carbonatos de hierro y magnetización de óxidos e hidróxidos de hierro en aplicador de campo E-H.

Se utilizó un mineral bruto formado por una mena de hierro en varias fases minerales molida a tamaño de grano inferior a 0,065 mm, que contenía menas de hierro en forma óxidos (hematites), hidróxidos (goethita, lepidocrocita: $\text{FeO}(\text{OH})$), hidrato-hidróxidos (limonita) y carbonatos (siderita: FeCO_3). Los resultados analíticos realizados en el mineral bruto basado en análisis geoquímico y mineralógico presentaron la siguiente concentración: hematites 53,4 %, siderita 26,7 %, hidróxidos e hidrato-hidróxidos de hierro (calculados por diferencia de peso) constituyen el 8,9 %. La ganga está presente en 11% en peso en forma de cuarzo.

Se utilizó un aplicador microondas monomodo en continuo de 80 cm configurado a 2,45 GHz, con un campo E y H simultáneos, y con máximos de un cuarto de longitud de onda entre cada uno de los campos electromagnéticos. El tubo se encontraba a 5° de inclinación, con alimentador por vibración para tratamiento en continuo y giraba a velocidad de 3 a 4 rpm. El tratamiento se realizó con un caudal de 3 kg/h utilizando un generador de 3 kW de potencia microondas instalada, hasta un calentamiento de la

muestra superior a 840 °C medido con pirómetro. En la parte terminal del aplicador se colocaron 4 imanes de 1,2 teslas, haciendo pasar el mineral bruto resultante por un separador magnético (modelo Frantz) aun caliente entre los 300 y los 150 °C, dando el producto resultante un contenido en Fe superior al 68,5% en forma de hematites, y con contenidos minoritarios de magnetita.

Ejemplo 3: Proceso de enriquecimiento y refino en 2 etapas por reducción en menas polimetálicas complejas de wolframio y presencia de otras menas (hierro, estaño) en aplicadores de campo H y campo E-H.

10

Se utilizó un mineral bruto formado por una mena polimetálica compleja rica en wolframio y otros metales de hierro y estaño, molida a tamaño de grano <0,065 mm, que contiene 40% en peso de wolframita ((Fe,Mn)WO₄), 20% de casiterita (SnO₂), 10% de óxidos de hierro (hematites y goethita), y el 30% de componentes de la ganga como cuarzo, micas, feldespatos y otros óxidos. La hematites estaba en forma predominante de hematites poco magnética (paramagnética), con una fracción con débil ferromagnetismo.

15

Etapas 1. Concentración y enriquecimiento en aplicador de campo H con magnetización de hematites, deshidroxilación de la goethita y separación de wolframita para concentración de menas de wolframio y hierro.

20

El conjunto del mineral bruto se trató en 2 aplicadores de campo H conectados. Los 2 aplicadores se conectan en línea y en contacto directo para obtener el equivalente de un aplicador de campo H de 24 cm de tratamiento, cada uno de ellos de longitud útil de 12 cm de longitud. Se calentó hasta una temperatura de 740-780 °C medido por cámara térmica, fijando un campo magnético en el extremo del aplicador de salida con 4 imanes de 1,2 teslas. La muestra se pasó por un separador magnético (modelo Frantz) en caliente entre 150-300 °C para obtener un concentrado en hematites ferromagnético enriquecido con >67% de Fe. La fracción restante se procesa en un segundo separador magnético en frío de inducción magnética de tambor y se obtuvo un concentrado con óxidos de wolframio en más del 92% después de rechazar algunos restos de micas por método de densidad de soplado. El resto de la ganga contiene cantidades del 5% de hierro no aprovechable.

25

30

Etapa 2. Enriquecimiento y refinado de wolframio en un aplicador de campo E-H y reducción de wolframita con humato potásico y grafito para obtener óxidos más ricos en wolframio.

En un segundo aplicador monomodo de campo E-H alimentado con un generador
5 microondas de 3 kW y 80 cm de largo se introdujo la wolframita adicionando el 12% en peso de humato potásico y grafito, de tamaño inferior a 0,080 mm. La velocidad de rotación se mantuvo a 4-5 rpm e inclinación de 5° para alcanzar temperaturas hasta 940 °C. El resultado de las muestras tratadas fueron óxidos de wolframio en estado más reducidos en forma de WO_3 y W_4O_{11} , así como restos de humato potásico y sales de
10 potasio.

El mineral bruto se procesó en continuo a la salida con un separador magnético (modelo Frantz) en vía seca, para obtener 2 fracciones:

- Fracción óxidos reducidos de wolframio con enriquecido superior al 92%.
- Fracción restante (ganga, casiterita, wolframita no procesada, restos de
15 compuestos de potasio).

Ejemplo 4: Valorización por reducción agresiva en menas polimetálicas complejas de wolframio, con concentración, enriquecimiento, refinado y purificación parcial

20 Se utilizó un mineral bruto formado por una fracción molida a tamaño de grano <0,065 mm, que contiene 40% en peso de wolframita ($(Fe,Mn)WO_4$), 20% de casiterita (SnO_2), 10% de óxidos de hierro (hematites y goethita), y el 30% de componentes de la ganga como cuarzo, micas, feldespatos y otros óxidos. La hematites estaba en forma predominante de hematites poco magnética (paramagnética), con una fracción con débil
25 ferromagnetismo.

Etapa 1. Concentración y enriquecimiento en aplicador de campo H.

Se realizó un tratamiento idéntico sobre el mineral descrito en la Etapa 1 del Ejemplo 3.

30 Etapa 2. Aplicador de campo E-H y reducción de wolframita con grafito, con enriquecimiento y purificación parcial.

En un segundo aplicador de campo E-H alimentado con un generador de 3 kW y 80 cm de largo se introdujo la wolframita adicionando el 12% en peso de grafito de tamaño inferior a 0,080 mm. La velocidad de rotación se mantuvo a 4-5 rpm e inclinación de 5°
35 alcanzando temperaturas hasta 940°C. En la parte terminal del aplicador se colocaron 4

imanes de 1,2 teslas. El resultado obtenido fueron fases muy reducidas obteniéndose W metal, óxidos de wolframio concentrados, en forma de WO_3 y W_4O_{11} y materiales compuestos de carburo de wolframio en forma principalmente de $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$.

- 5 El mineral resultante, parcialmente apelmazado después del tratamiento, fue molido en seco hasta partículas de $<0,080$ mm y se pasó por un separador magnético en vía seca (tipo Frantz) en 3 pasadas de separación consecutivas, permitiendo la separación de 4 fracciones:
- W metálico al 95%,
 - 10 - óxidos de wolframio (WO_3 y W_4O_{11}), al 92%,
 - carburo de wolframio con hierro ($\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$), al 98%,
 - ganga de minerales no magnéticos y restos de fases no separadas de W.
- Los rendimientos alcanzados permiten unos adecuados balances industriales.

15 **Ejemplo 5. Tratamiento de sulfuros polimetálicos. Extracción de azufre elemental en aplicador de campo E-H y campo E y enriquecimiento, refinado y purificación parcial de metales.**

- 20 Se utilizó un mineral bruto molido a tamaño inferior a $0,065$ mm y constituido por menas de sulfuros que contienen pirita en un 85% en peso y otros sulfuros metálicos de Co, Zn y Pb en cantidades inferiores al 15%. Las fases minerales identificadas fueron pirita (FeS_2) como dominante, con minoritarios de calcopirita (CuFeS_2) y trazas de pirrotita (FeS) y siderita (FeCO_3).

- 25 Etapa 1. Concentración y enriquecimiento de metales Fe, Cu, Co, Zn, Pb y extracción de azufre elemental en aplicador de campo E-H.

- El mineral bruto se sometió a un aplicador monomodo de campo E-H en frecuencia de $2,45$ GHz. Se añadió N_2 gaseoso mediante inyección directa a muy baja presión que genera un leve flujo según sentido de flujo del mineral bruto. Se procesó a un caudal de
- 30 2 kg/h utilizando un generador de potencia microondas de 3 kW que permitió alcanzar la temperatura de descomposición hasta los 750 °C medida con cámara térmica.

Los gases liberados, con temperatura medida de 118 °C se succionaron manteniendo una diferencia de presión entre el tubo de procesado y el tubo de succión próxima a los 10 mbar. El gas se precipitó en forma de azufre sólido mediante enfriado en un

intercambiador de calor por debajo de los 85°C y se recuperó como azufre líquido de alta pureza tras calentarlo de nuevo a 150°C.

El mineral de salida resultante lo forman sulfuros de hierro de la serie pirrotita-troilita de composición Fe_xS ($x=1$ a 0,8) y otras fases que contienen Cu, Ag, Zn y Pb asociados, entre las que se identifica la presencia de calcopirita (en torno al 5% en peso). El azufre recuperado fue el 54% en peso del contenido estequiométrico de la pirita original.

10 Etapa 2. Adición de sales de Na y Ca en aplicador de campo H acoplado a un segundo aplicador de campo E para enriquecimiento, refinado y purificación parcial de Fe y enriquecimiento de otros metales.

Al mineral obtenido en la etapa 1 se le adicionó un preparado de sales de cloro y de carbonatos, conteniendo NaCl en un 6%, Ca_2Cl en un 8% y CaCO_3 al 6% y Na_2CO_3 al 4%. Este compuesto fue entonces tratado en un aplicador de campo H de 12 cm de longitud utilizando una velocidad de rotación de 4 rpm a la que se le conectó un
15 segundo aplicador de campo E de 12 cm de longitud, cada uno de los cuales con generador microondas de 3 kW. Con esto se garantizaba evitar reacciones violentas. Se hizo un tratamiento hasta los 850 °C, según se midió con pirómetro.

El mineral se enfrió al aire forzado a temperatura inferior a 200 °C, manteniendo un campo magnético de 1,2 teslas, emplazados en la zona próxima a la salida del
20 aplicador para mantener un campo magnético y después lavado en agua para extraer las sales solubles.

El residuo sólido se pasó por un separador magnético (tipo Frantz) obteniéndose dos fracciones:

- 25 - Fracción magnética: fracción enriquecida rica en magnetita ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) y wüstita (FeO), y fracción de hierro elemental (Fe), que representan en su conjunto el 81% en peso, además de óxidos de cobre, carburos de hierro magnéticos (trazas).
- 30 - Fracción no magnética (paramagnéticos débiles, diamagnéticos): fracción muy poco magnética con Cu, Ag, Zn y Pb y otros elementos minoritarios (tierras raras), además de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). También se encontraron componentes de carburos de hierro (Fe_xC), lo que se conoce como aceros.

Ejemplo 6. Tratamiento de sulfuros polimetálicos complejos. Extracción de azufre en aplicador de campo H para magnetización, desulfuración y extracción de componentes metálicos.

- 5 Se utilizó un mineral bruto de tamaño de grano inferior a 0,065 mm rico en sulfuros de cobre y de hierro y presencia de Zn y Pb, en forma de calcopirita (CuFeS_2), pirita (FeS_2), esfalerita (ZnS) y galena con presencia de otros componentes minoritarios metálicos (Co, Ni, Cr) y trazas (Ag) y no metálicos (cuarcitas).
- 10 Etapa 1. Tratamiento en aplicador de campo H para magnetización de sulfuros, desulfuración parcial y concentración de minerales con Cu-Fe.
- El mineral bruto se procesó en campo H, en un aplicador con tramo de tratamiento de 12 cm de longitud, trabajando a un caudal de sólidos de 4 kg/h, con un generador de 3 kW de potencia microondas, con inyección a baja presión de gas de N_2 de calidad
- 15 industrial, llegando hasta una temperatura próxima a los 340-430 °C medida con cámara térmica. En el extremo de salida se colocaron 4 imanes permanentes de 1,2 teslas para mantener un campo magnético estático. Los escasos gases liberados se succionaron manteniendo una diferencia de presión entre el tubo de procesado y el tubo de succión próxima a los 10 mbar. El gas se precipitó en forma de azufre sólido
- 20 mediante enfriado en un intercambiador de calor por debajo de los 85 °C y se recuperó como azufre líquido de alta pureza tras calentarlo de nuevo a 150 °C. El mineral bruto extraído se trató en línea con un separador magnético y se obtuvo una fracción de sulfuros magnéticos con incipiente desulfuración de Cu-Fe y una fracción no magnética compuesta por ganga y el resto de los componentes metálicos.
- 25 Etapa 2. Tratamiento de los minerales para enriquecimiento de los metales y producción de azufre en aplicador de campo E-H para desulfuración intensa de la fracción magnética.
- La fracción más magnética de la etapa 1 y sus otros componentes asociados (Ni, Co,
- 30 Cr) se trató en tres fases sucesivas con aplicador de campo E-H y extracción de azufre con el mismo procedimiento de la etapa 1, calentando hasta los 1050 °C, dando al final una fracción de minerales poco magnéticos y enriquecida en Cu-Fe.
- Etapa 3. Adición de sales de Na y Ca a la fracción no magnética en aplicador de campo
- 35 H acoplado a un segundo aplicador de campo E para enriquecimiento en Fe.

A la fracción de mineral bruto procedente de la etapa 2 se le adicionó un preparado de sales de cloro y de carbonatos, conteniendo NaCl en un 6%, Ca_2Cl en un 8% y CaCO_3 al 6% y Na_2CO_3 al 4%.

- 5 La mezcla compuesta fue entonces tratada en un aplicador de campo H de 12 cm de longitud utilizando una velocidad de rotación de 4 rpm a la que se le conectó un segundo aplicador de campo E de 12 cm de longitud, cada uno de los cuales con generador microondas de 3 kW. Con esto se garantizaba evitar reacciones violentas. Se hizo un tratamiento hasta los 850 °C, según medida efectuada con pirómetro.
- 10 El mineral se enfrió al aire forzado a temperatura inferior a 200 °C, con 4 imanes de 1,2 teslas, emplazados en la zona próxima a la salida del aplicador para mantener un campo magnético. Después fue lavado en agua para extraer las sales solubles. La fracción sólida resultante se pasó por un separador magnético (tipo Frantz) obteniéndose 2 fracciones:
 - 15 - Fracción magnética: fracción rica en magnetita ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) y wüstita (FeO), hierro elemental (Fe) que representan el 79% en peso.
 - Fracción no magnética (paramagnéticos débiles, diamagnéticos): fracción muy poco magnética con Ag, además de componentes generados como subproducto de reacción de los sulfuros con las sales ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y restos de sales insolubles que no han reaccionado (CaCO_3). También se encontraron componentes de carburos de hierro (Fe_xC). La separación de la fracción metálica de la ganga (incluido subproductos de reacción) se realizó con un separador de densidad en vía húmeda.
- 20
- 25 Etapa 4. Tratamiento en aplicador de campo E de la fracción no magnética de la etapa 1 para desulfuración completa y enriquecimiento y refino de Fe, Zn, Pb.

- 30 A la fracción no magnética de la etapa 1, se le adicionaron sales de potasio, sodio y calcio (10% de CaCO_3 , 6% de KCl, 6% de NaCl). Posteriormente se procesó en una aplicador de campo E, de 12 cm de longitud alcanzando temperaturas de 890°C. La extracción del azufre se realizó con el mismo procedimiento de la etapa 1. Se obtuvieron, óxido de hierro, óxido de cinc, óxido de plomo, y Zn y Pb metálicos, sales subproductos de reacción y ganga. Todo el mineral resultante se pasó por un separador de densidad en vía húmeda para separar los componentes no metálicos (sales insolubles subproducto de reacción y ganga) de los metales.
- 35

Ejemplo 7. Extracción de vanadio a partir de sales alcalinas en aplicador de campo H y de campo E-H.

- 5 El mineral bruto de partida está formado por una fracción molida a tamaño inferior a 0,065 mm, que contiene un 65% de óxidos de hierro en forma de hematites (Fe_2O_3) y de magnetita ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$), además de <10% de siderita (FeCO_3) y contiene cuarzo, feldespatos y micas y con un contenido en vanadio del 0,8%.
- 10 Etapa 1. Enriquecimiento de Fe en aplicador de campo H con adición de grafito y humatos.
Las adiciones fueron grafito (5%) y humatos de potasio (12%), y se trató el conjunto en aplicador de campo H, con un flujo de 1,1 kg/h, utilizando un generador de 3 kW hasta alcanzar los 790 °C. Los extremos fueron parcialmente cerrados para que se generase una alta concentración de gases liberados para facilitar la reducción.
- 15 Una vez la muestra enfriada hasta unos 60 °C se pasó con un separador magnético, obteniendo un concentrado de magnetita del 98% total, con contenidos minoritarios de wüstita.
- 20 Etapa 2. Enriquecimiento y refino de V en aplicador de campo E-H con adición de sales. Al mineral bruto rico en magnetita procedente de la etapa 1 se le adicionó 6% de NaCl y 8% NaCO_3 y esta mezcla fue finamente molida, teniendo el compuesto a procesar un tamaño de grano < 0,045 mm.
Dicho compuesto se trató en un aplicador de campo H al que se le conectó otro de campo E-H. Se midieron temperaturas de 850 °C en el mineral bruto con el tratamiento en el aplicador de campo H, y de 1150 °C en el de campo E-H.
- 25 El mineral saliente fue vertido directamente en agua y agitado durante 10 min.
El residuo insoluble, después de seco, dio un concentrado de óxido de vanadio, de 9,2 g por cada kg de hematites.

30

Reivindicaciones

1. Procedimiento selectivo de extracción de metales de un mineral bruto, caracterizado por que comprende:
 - 5 - una etapa de calentamiento electromagnético de dicho mineral bruto con microondas en campo magnético dominante, o campo H, en aplicador monomodo abierto; seguido de una de las dos opciones siguientes:
 - 10 - una etapa adicional de calentamiento dieléctrico con microondas en el campo eléctrico dominante, o campo E, y/o una etapa de calentamiento dieléctrico y magnético simultáneamente con microondas en campo eléctrico y magnético alternante, o campo E-H, ambas en aplicador monomodo;
 - o
 - 15 - una etapa adicional de calentamiento dieléctrico y magnético simultáneamente con microondas en campo eléctrico y magnético alternante, o campo E-H, y una etapa de calentamiento con microondas en el campo eléctrico dominante, o campo E, ambas en aplicador monomodo;
- 20 y separación de los productos obtenidos después de cada etapa de calentamiento.
2. Un procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que dicho mineral bruto contiene una mena polimetálica o monometálica poli-mineral.
- 25 3. Un procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que dicho mineral bruto son residuos industriales.
- 30 4. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que dicha separación es una separación magnética.
- 35 5. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que comprende adición de carbono como componente reductor a dicho mineral bruto, previo a cualquier etapa de tratamiento microondas.

6. Un procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que dicho carbono es grafito, humatos, negro de humo o carbonatos.
- 5 7. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que comprende aplicación de un campo magnético estático externo en al menos una etapa de tratamiento con microondas.
- 10 8. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que se lleva a cabo en presencia de atmósfera controlada.
9. Un procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que dicha atmósfera controlada es una atmósfera anóxica en presencia de N_2 o CO_2 .
- 15 10. Un procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado por que comprende una etapa de extracción de azufre elemental por condensación o solidificación de los gases extraídos de dicha atmósfera anóxica.
- 20 11. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por que dicho mineral bruto transita a través de un tubo contenedor de movimiento rotativo.
12. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que dicho aplicador monomodo comprende filtros de radiación en al menos un extremo.
- 25 13. Dispositivo para la extracción selectiva de metales de un mineral bruto caracterizado por que comprende:
- una cámara microondas (1) configurada para confinar un campo electromagnético monomodo de frecuencia en el rango de las microondas, siendo una de sus
 - 30 componentes, eléctrica E o magnética H, dominante o siendo ambas componentes alternantes E-H, de acuerdo con las propiedades de permitividad dieléctrica y permeabilidad magnética complejas del mineral bruto,
 - unos medios de transporte para transportar removiendo las partículas del mineral bruto a través de la cámara (1),

- unos medios de transmisión configurados para transmitir un campo electromagnético de frecuencia en el rango de las microondas en el interior de la cámara (1),
 - unos medios de separación a la salida de la cámara microondas (1),
 - 5 - una unidad de sintonización (4) configurada para sintonizar el modo del campo electromagnético mediante la modificación de la geometría de la cámara microondas (1).
14. Dispositivo según la reivindicación 13, caracterizado por que los medios de separación comprenden un separador magnético (12).
15. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 13 ó 14, caracterizado por que los medios de separación se basan en la densidad.
16. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, caracterizado por que los medios de transporte comprenden un tubo de transporte (7) y motores de rotación (8) para remover las partículas en su desplazamiento.
17. Dispositivo según la reivindicación 16, caracterizado por que los medios de transporte son inclinables.
18. Dispositivo según la reivindicación 16 ó 17, caracterizado por que los medios de transporte comprenden un motor de vibración (9) para remover las partículas en su desplazamiento.
19. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 16 a 18, caracterizado por que comprende unos filtros acoplados (2) para evitar la fuga de radiación al exterior cuando la cámara microondas (1) es abierta.
20. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 16 a 19, caracterizado por que la unidad de sintonización (4) comprende un cortocircuito deslizante para regular la geometría de la cámara microondas (1).

21. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 16 a 20, caracterizado por que la cámara microondas (1) tiene una geometría que confina al menos un máximo de la componente magnética H del campo en el tubo de transporte (7).
- 5 22. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 16 a 21, caracterizado por que la cámara microondas (1) tiene una geometría que confina al menos un máximo de la componente eléctrica E del campo en el tubo de transporte (7).
- 10 23. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 16 a 22, caracterizado por que la cámara microondas (1) tiene una geometría que confina los máximos alternantes de las componentes de campo electromagnético E-H en el tubo de transporte (7).
- 15 24. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 23, caracterizado por que los medios de transmisión comprenden una guía de ondas (3).
- 20 25. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 24, caracterizado por que comprende un generador microondas acoplado con los medios de transmisión.
- 25 26. Dispositivo según la reivindicación 25, caracterizado por que comprende una unidad de control configurada para controlar los medios de transporte, los medios de transmisión y la unidad de sintonización.
- 30 27. Dispositivo según la reivindicación 26, caracterizado por que la unidad de control está configurada para igualar la frecuencia del modo en la cámara microondas (1) a la frecuencia del generador microondas.
28. Dispositivo según la reivindicación 27, caracterizado por que comprende al menos un sensor de impedancia (5), un sensor de temperatura o un sensor de potencia.
- 35 29. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 28, caracterizado por que comprende medios de adición de gases para incorporar gases en el interior del tubo de transporte (7).

5 30. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 29, caracterizado por que comprende medios de captación de azufre para recuperar azufre procedente del procesado mediante un extractor acoplado a uno de los extremos del tubo de transporte (7).

10 31. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 30, caracterizado por que comprende un imán o electroimán (13) a la salida de la cámara o en el tramo final de la misma, para mantener la magnetización resultante del mineral bruto tratado durante su enfriamiento.

15 32. Sistema para la extracción selectiva de metales de un mineral bruto caracterizado por que comprende una pluralidad de dispositivos según una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 31, dispuestos en cadena para tratar secuencialmente en cada dispositivo al menos un componente del mineral bruto.

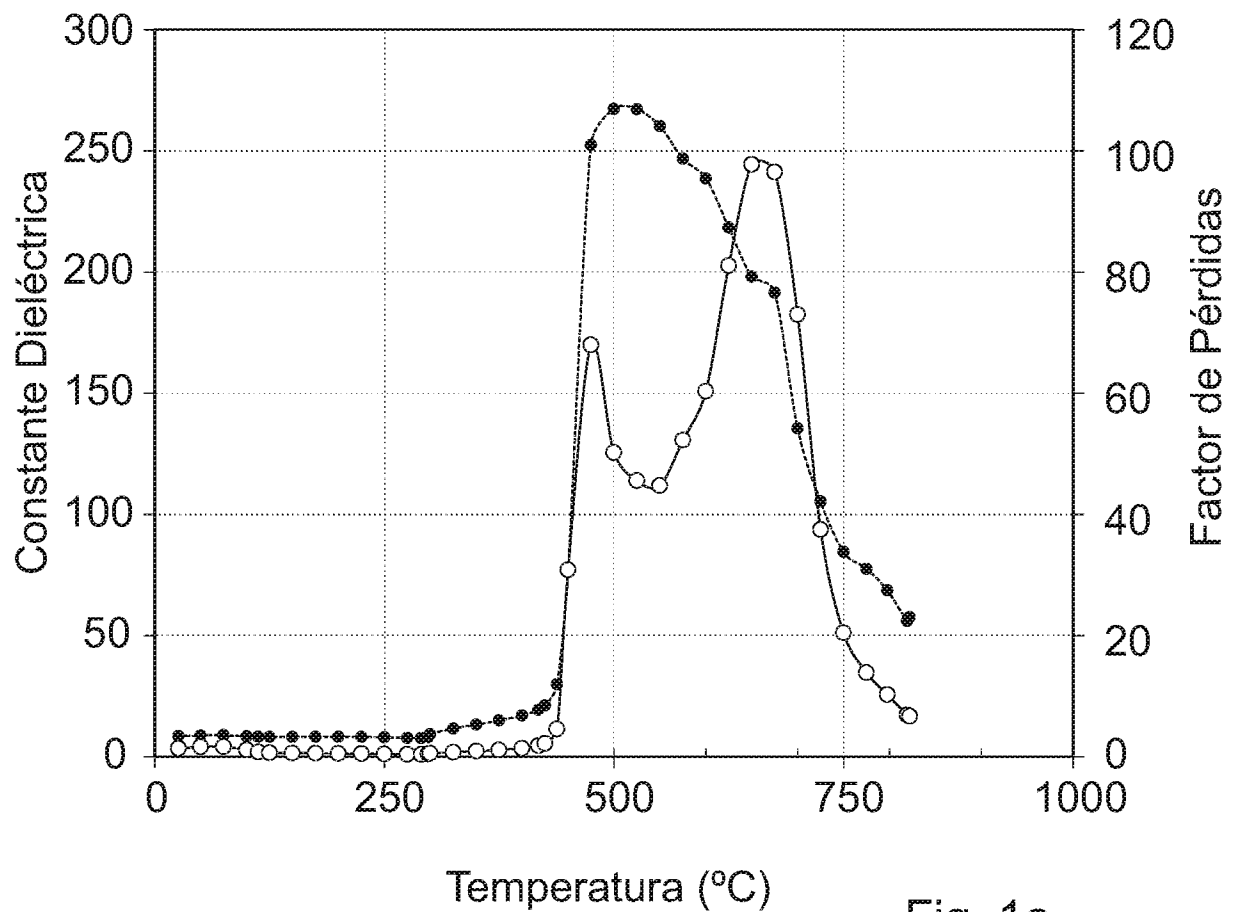


Fig. 1a

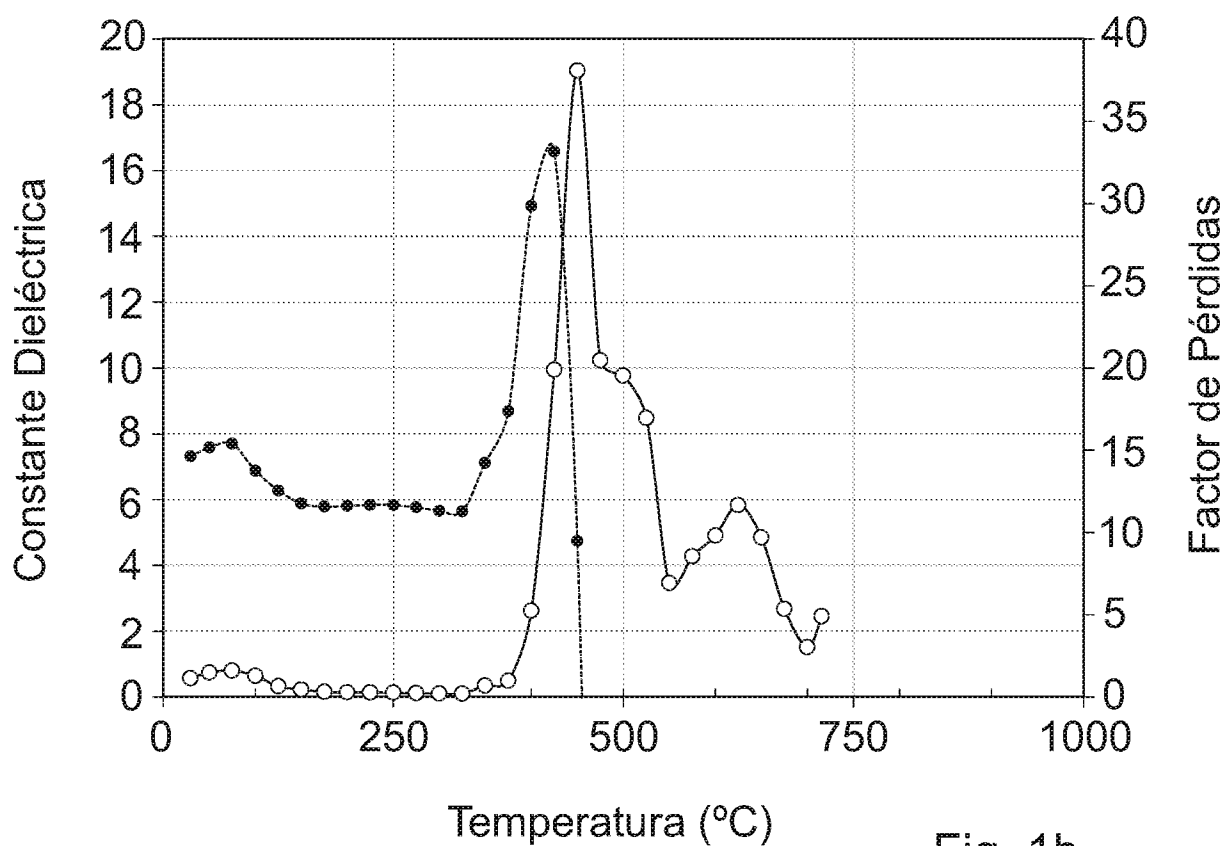
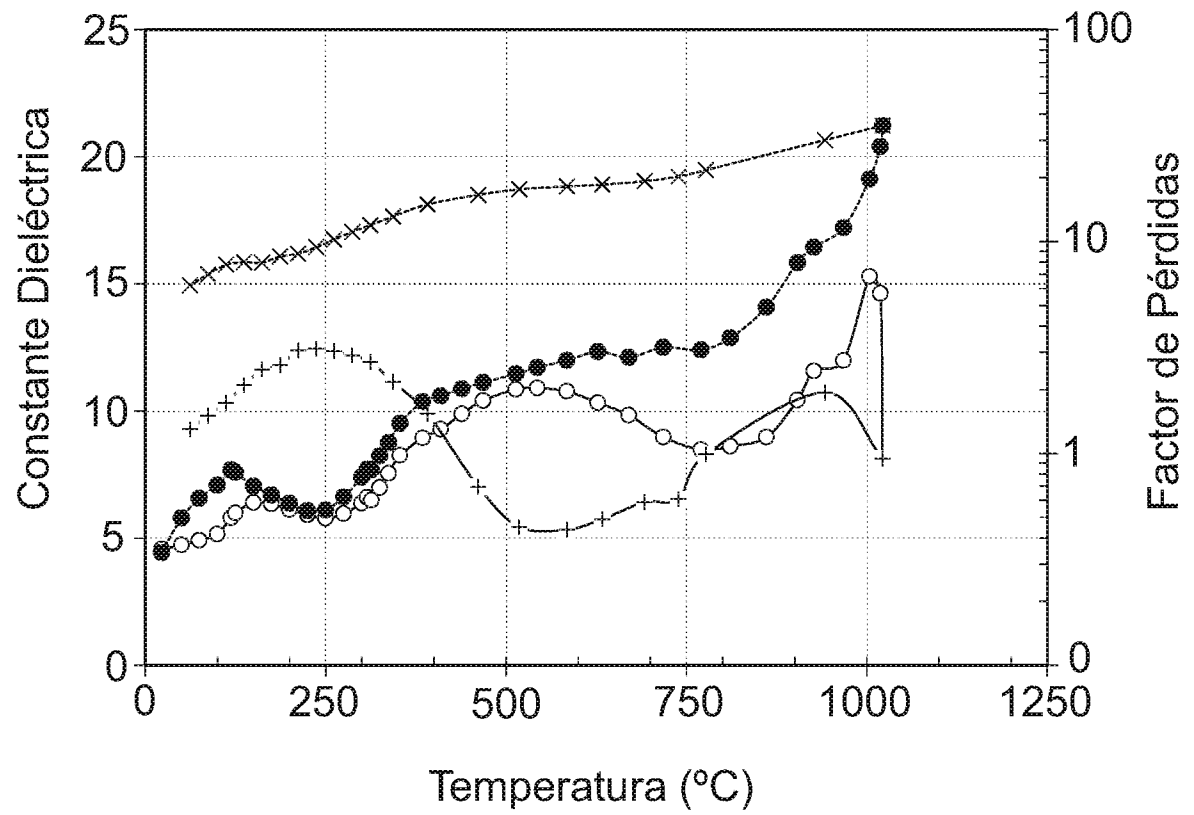
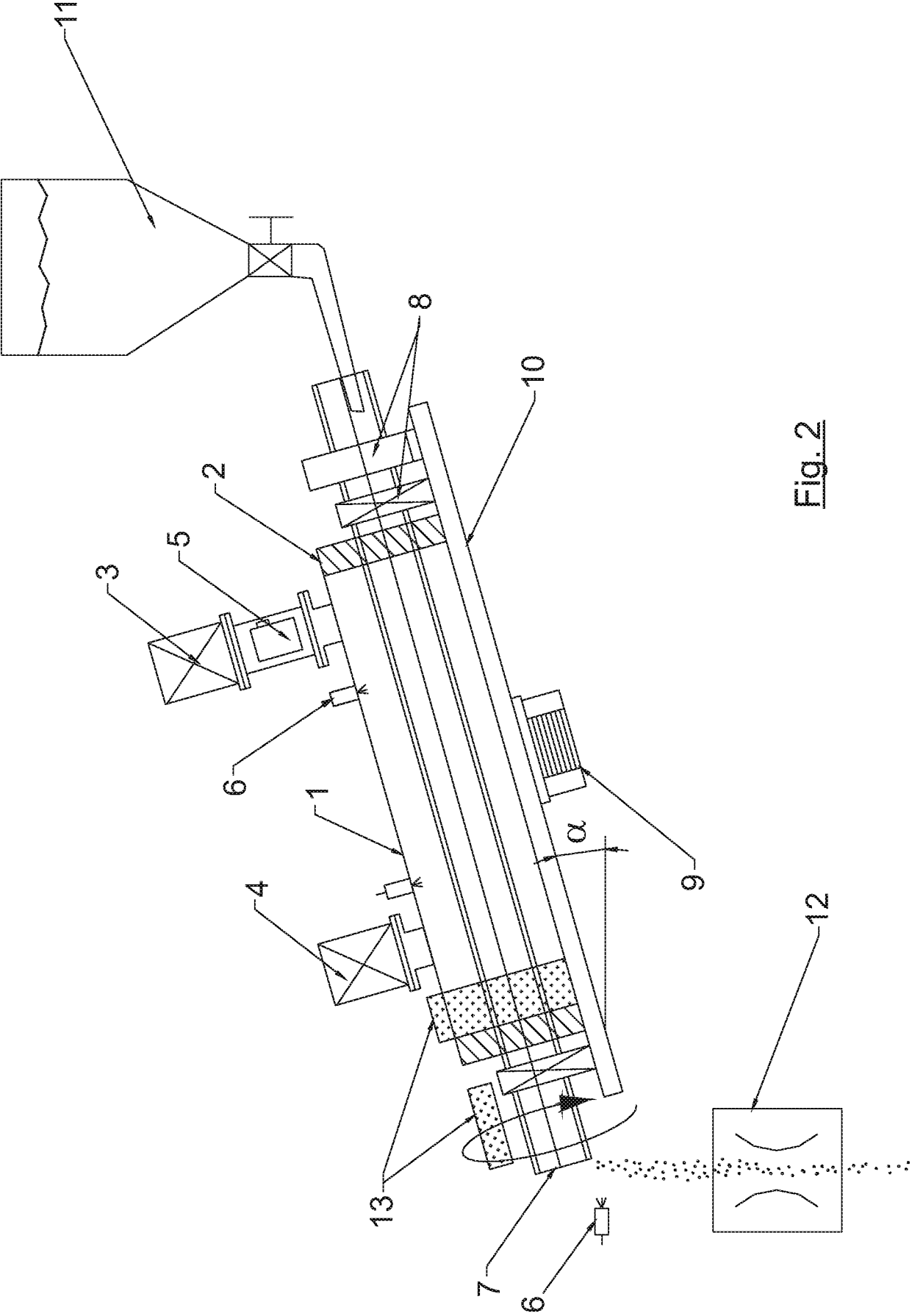


Fig. 1b

Fig. 1c



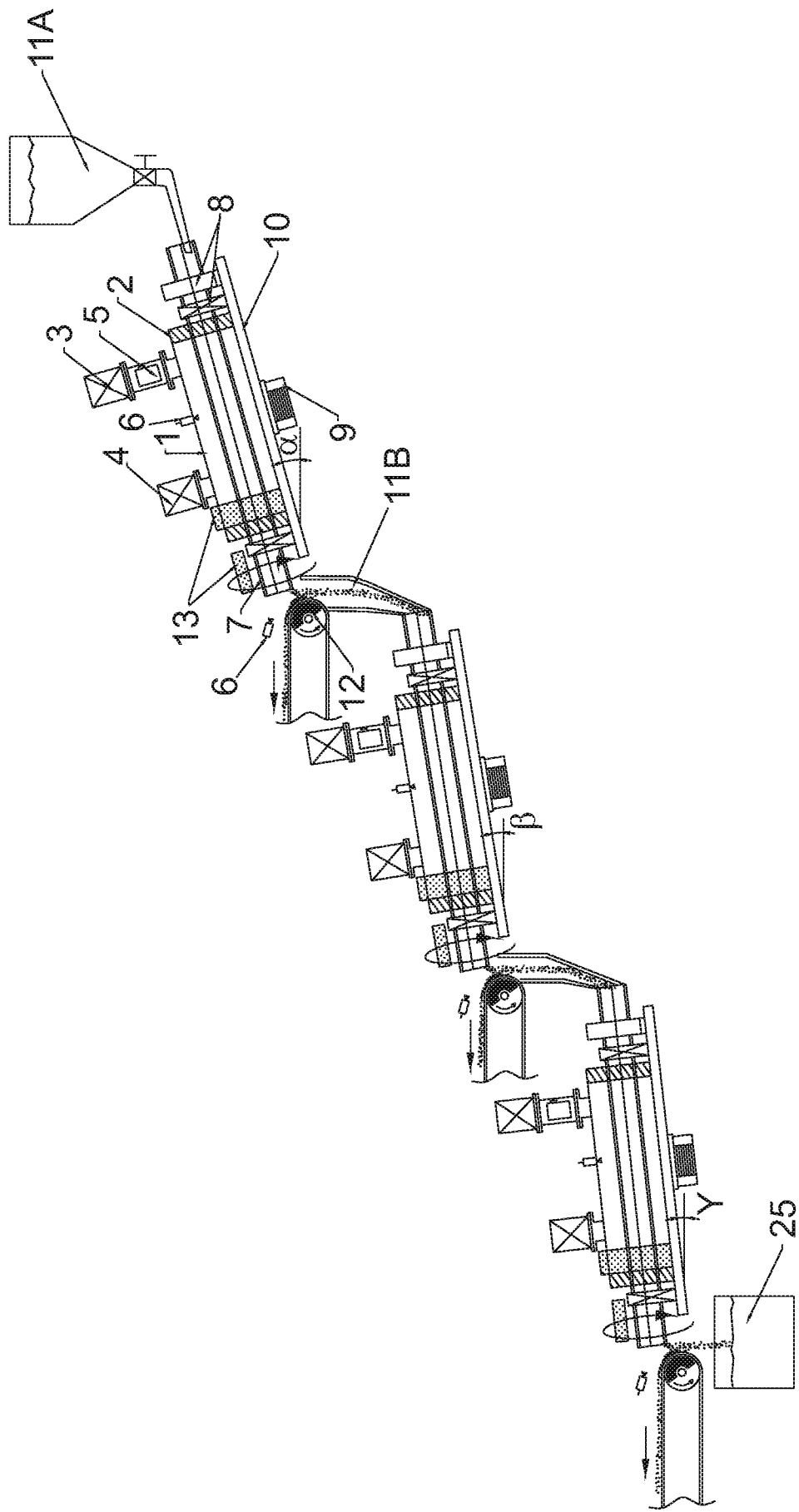
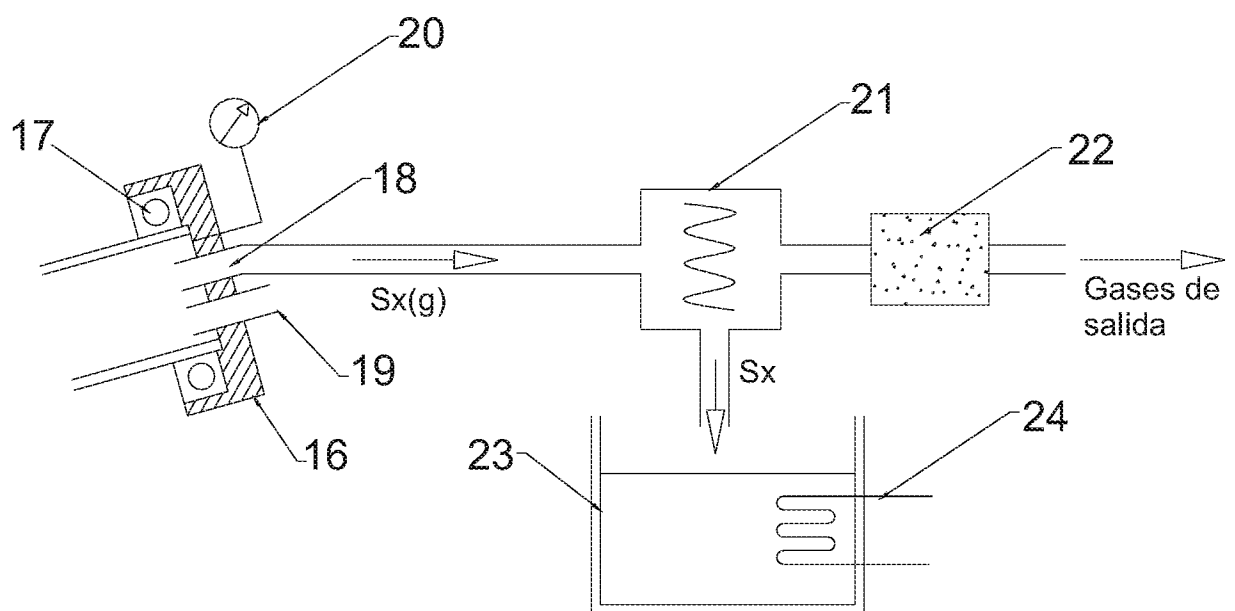
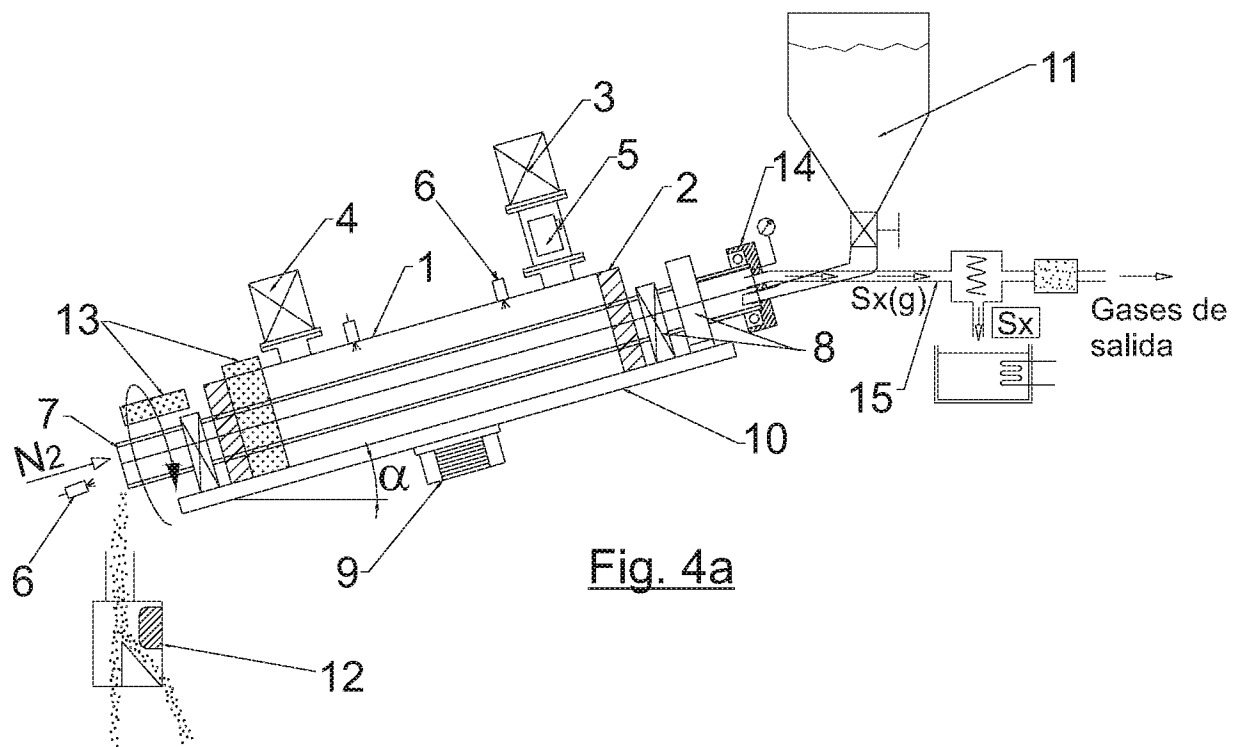


Fig. 3



INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°

PCT/ES2016/070049

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

INV. C22B1/02 B01J19/12 C22B9/22 C22B4/00

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

C22B B01J

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados) EP0-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
X	EP 2 628 809 A1 (SHENZHEN GEM HIGH TECH CO LTD [CN]) 21 Agosto 2013 (2013-08-21) paragraphs [0003], [0004], [0014], [0016], [0019] - [0023], [0027], [0028], [0040], [0041], [0047] reivindicación 1	1-4, 13-15, 24-28
X	WO 2008/147420 A1 (CLIFTON MINING COMPANY UTAH CO [US]; ROY RUSTUM [US]; MOELLER WILLIAM) 4 Diciembre 2008 (2008-12-04) párrafos [0004], [0006] - [0009], [0026] - [0036] reivindicaciones 1-3,5,8,9	1-4,9, 11-29,32
	----- -/-	

☒ En la continuación del Recuadro C se relacionan otros documentos	☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el Anexo
* Categorías especiales de documentos citados: "A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante. "E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior. "L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada). "O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio. "P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.	"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención. "X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado. "Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia. "&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional. 2 Mayo 2016	Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional 10/05/2016
Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Funcionario autorizado Riederer, Florian
N° de fax	N° de teléfono

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°

PCT/ES2016/070049

C (continuación).

DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
X	US 6 277 168 B1 (HUANG XIAODI [US] ET AL) 21 Agosto 2001 (2001-08-21) resumen columna 3, línea 17 - columna 4, línea 61 reivindicaciones 1,6,8,10,16 -----	1-8,10, 13-15, 24,30,31

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional N°

PCT/ES2016/070049

EP 2628809	A1	21-08-2013	CN	102441553 A	09-05-2012
			EP	2628809 A1	21-08-2013
			JP	5690409 B2	25-03-2015
			JP	2013544964 A	19-12-2013
			KR	20130057490 A	31-05-2013
			WO	2012048474 A1	19-04-2012

WO 2008147420	A1	04-12-2008	US	2009183597 A1	23-07-2009
			WO	2008147420 A1	04-12-2008

US 6277168	B1	21-08-2001	US	6277168 B1	21-08-2001
			WO	02079529 A1	10-10-2002

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/ES2016/070049

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. C22B1/02 B01J19/12 C22B9/22 C22B4/00
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C22B B01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2 628 809 A1 (SHENZHEN GEM HIGH TECH CO LTD [CN]) 21 August 2013 (2013-08-21) paragraphs [0003], [0004], [0014], [0016], [0019] - [0023], [0027], [0028], [0040], [0041], [0047] claim 1	1-4, 13-15, 24-28
X	WO 2008/147420 A1 (CLIFTON MINING COMPANY UTAH CO [US]; ROY RUSTUM [US]; MOELLER WILLIAM) 4 December 2008 (2008-12-04) paragraphs [0004], [0006] - [0009], [0026] - [0036] claims 1-3,5,8,9 ----- -/-	1-4,9, 11-29,32

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 May 2016

Date of mailing of the international search report

10/05/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Riederer, Florian

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/ES2016/070049

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 277 168 B1 (HUANG XIAODI [US] ET AL) 21 August 2001 (2001-08-21) abstract column 3, line 17 - column 4, line 61 claims 1,6,8,10,16 -----	1-8,10, 13-15, 24,30,31

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/ES2016/070049

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2628809	A1	21-08-2013	CN 102441553 A 09-05-2012
			EP 2628809 A1 21-08-2013
			JP 5690409 B2 25-03-2015
			JP 2013544964 A 19-12-2013
			KR 20130057490 A 31-05-2013
			WO 2012048474 A1 19-04-2012

WO 2008147420	A1	04-12-2008	US 2009183597 A1 23-07-2009
			WO 2008147420 A1 04-12-2008

US 6277168	B1	21-08-2001	US 6277168 B1 21-08-2001
			WO 02079529 A1 10-10-2002
