

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 680 902**

51 Int. Cl.:

B02C 19/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.02.2010 PCT/EP2010/051752**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.08.2010 WO10092136**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.02.2010 E 10703873 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.04.2018 EP 2396117**

54 Título: **Procedimiento y sistema de aprovechamiento de materiales y/o productos por potencia pulsada**

30 Prioridad:

13.02.2009 FR 0950945

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

11.09.2018

73 Titular/es:

**XCRUSHER (100.0%)
14 Rue de Saint-Nazaire
67100 Strasbourg, FR**

72 Inventor/es:

**BENTAJ, ABDELAZIZ;
OUAYAHYA, NADIR;
CLEMENT, JEAN LOUIS y
TUTUSAUS, JEAN PIERRE**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 680 902 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema de aprovechamiento de materiales y/o productos por potencia pulsada.

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un sistema de aprovechamiento de materiales y/o productos por potencia pulsada.

10 Encuentra aplicación ventajosamente, pero no de manera limitativa, en diferentes sectores: el sector energético, el sector de la minería, el medio ambiente, el reciclaje de combustibles nucleares, el sector de los hidrocarburos, la química y cualquier otro sector afectado por la liberación, la dispersión, la fragmentación y el aprovechamiento por separación y recombinación electroquímica de componentes químicos y moleculares, los materiales compuestos.

15 La trituración de materiales desempeña un papel importante en numerosos procedimientos de fabricación o de tratamiento de materiales. No obstante, los procedimientos convencionales adolecen de inconvenientes que han llevado a desarrollar nuevas soluciones.

20 La trituración de materiales por descargas eléctricas es un procedimiento conocido, que presentan numerosas ventajas con respecto a los procedimientos convencionales que utilizan trituradores mecánicos, para los que el desgaste de las piezas deteriora el rendimiento del sistema.

25 En este sentido, se han descrito unos ejemplos, en particular, en las siguientes diversas patentes o solicitudes de patente: JP 10-180133; WO 2008/017172; WO 2005/032722; US 4 540 127; CA 2 555 476 EP 1 375 004; o incluso el documento DE 10 2004 04 1287.

De manera clásica, se aplica una sucesión de impulsos eléctricos de potencia muy alta sobre unos productos y materiales previamente sumergidos en un entorno líquido.

30 La resistividad del líquido ambiental así como el estado transitorio de la materia durante los impulsos conlleva el paso de canales de arcos eléctricos cargados de energía en el interior del material sumergido y entre los granos de dicho material, hasta la creación de un arco eléctrico único o múltiple entre los dos electrodos y que pasa a través de dicho material sumergido.

35 El paso del arco eléctrico a través de dicho material conlleva la dislocación de los granos a nivel de los puntos de discontinuidad (exfoliaciones, inclusiones, fracturas), a nivel de los contactos entre granúlos, y la ruptura de determinados enlaces químicos seguida por la recombinación química de los elementos y moléculas así liberadas para dar nuevos compuestos en equilibrio de fase con el medio ambiental.

Presentación general de la invención

40 Un objetivo de la invención es proponer un procedimiento de aprovechamiento de materiales y/o productos por potencia pulsada adicionalmente mejorado, en particular en cuanto al tiempo de tratamiento y los costes energéticos.

45 Todavía otro objetivo de la invención es proponer un procedimiento de aprovechamiento por potencia pulsada que permita fragmentaciones y liberaciones de constituyentes unitarios con granulometrías superiores a las encontradas habitualmente tras un tratamiento mediante métodos tradicionales y por tanto la reducción del coste energético para el aprovechamiento de dichos materiales y/o productos.

50 Todavía otro objetivo de la invención es permitir una liberación de los elementos constitutivos de los productos y/o materiales mediante fragmentación, pulverización y, dado el caso, separación electrocinética y electroquímica, incluso mediante recombinaciones químicas de algunos de estos elementos, sin pasar por tratamientos pirometalúrgicos o químicos pesados y contaminantes.

55 En particular, la invención propone un procedimiento de aprovechamiento de materiales y/o productos por potencia pulsada según el cual se genera una sucesión de descargas eléctricas entre por lo menos dos electrodos en un reactor que recibe un líquido ambiental así como los materiales y/o productos que se van a aprovechar, caracterizado por que la energía de estas descargas eléctricas, la tensión entre los electrodos, el tiempo de conmutación, la frecuencia de las descargas se seleccionan de manera que dichas descargas produzcan una onda de choque mecánica que se propaga sobre los materiales y/o productos a tratar en el reactor.

60 Como complemento, dado el caso, tras una primera etapa de fragilización mediante la onda de choque mecánica así producida, se hace que los productos y/o materiales experimenten una sucesión de descargas eléctricas cuya energía, tensión entre los electrodos que las generan, tiempo de conmutación y frecuencia de descarga se seleccionan de manera que dichas descargas realicen una trituración del material por efecto directo de las

descargas eléctricas.

5 Esta onda de choque mecánica que se propaga en el reactor y, dado el caso, el arco eléctrico complementario permiten obtener la fragmentación, separación, pulverización de los materiales y/o productos a tratar, y favorecen la recombinación química de algunos constituyentes o moléculas.

10 En la totalidad de la presente memoria, se entiende por material y/o producto cualquier materia o sustancia de una fase o de múltiples fases (sólido, líquido, gas, vapor, etc.), de uno o de múltiples constituyentes, pura o compuesta, que puede contener sólidos de cristalización o amorfos; por ejemplo (lista no exhaustiva): mineral, mena, residuo o subproducto de una o varias actividades, en particular industriales o humanas, cualquier
15 producto que deba ser sometido a una operación de trituración, fragmentación, pulverización, molienda, separación en sus constituyentes, descontaminación, aprovechamiento con el objetivo de un aumento de su valor añadido, los materiales compuestos a base de fibras de carbono o de resina y metales (titanio, acero, aleaciones).

20 Un procedimiento de este tipo presenta la ventaja de evitar la utilización de piezas mecánicas móviles (caso de los trituradores mecánicos), de bolas, barras u otras piezas de desgastes (trituradores de bolas, barras, conos). Se obtiene como resultado una reducción de los costes de mantenimiento de este procedimiento con respecto a los otros procedimientos.

Otra ventaja de este procedimiento se refiere a la no utilización de productos químicos altamente tóxicos y reactivos inorgánicos que son con frecuencia necesarios para el tratamiento de las menas.

25 Otra ventaja de este procedimiento es que la liberación, la fragmentación, la separación, la pulverización se producen en tiempos muy breves gracias al tiempo de conmutación de los descargadores que desencadenan la descarga de los condensadores que permite restituir la energía almacenada en tiempos muy breves (potencias pulsadas muy elevadas) al reactor que contiene los productos a tratar y/o aprovechar, y ello para un consumo energético global muy bajo.

30 Ventajosamente, tras una primera etapa de fragilización mediante la onda de choque mecánica así producida, se hace que los productos y/o materiales experimenten una sucesión de descargas eléctricas cuya energía, intensidad, tensión entre los electrodos que las generan, tiempos y frecuencia de descarga se seleccionan de manera que dichas descargas realizan una trituración del material por efecto directo de las descargas eléctricas (arcos eléctricos). Asimismo, la invención propone un sistema de aprovechamiento que pone en práctica un
35 procedimiento de este tipo.

Presentación de las figuras

40 Otras características, objetivos y ventajas de la invención se desprenderán de la siguiente descripción, que es puramente ilustrativa y no limitativa, y que se debe leer haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 presenta un esquema del sistema polifuncional de tres fases;
- la figura 2 presenta un esquema de reactor basado en el efecto indirecto;
- 45 - la figura 3 presenta un esquema de reactor basado en el efecto directo;
- las figuras 4a y 4b presentan un tipo de electrodo de múltiples puntas que presenta vástagos cónicos;
- 50 - las figuras 5a y 5b presentan un tipo de electrodo de múltiples puntas para las que los vástagos presentan secciones cuadradas;
- la figura 6 presenta un conjunto de mando de sistema polifuncional;
- 55 - la figura 7a presenta un análisis cualitativo mediante cromatografía de gases acoplada a una detección mediante ionización de llama (GC - FID);
- la figura 7b presenta un análisis mediante cromatografía de gases acoplada a una detección mediante espectrometría de masas (GC-MS);
- 60 - la tabla 1 presenta la composición química de la mena tratada en porcentaje o en mg/Kg;
- la figura 8 presenta una curva granulométrica de la mena tras 820 descargas eléctricas;
- 65 - la tabla 2 presenta la tasa de liberación de los minerales según la energía inyectada y la granulometría de los fragmentos;

- la tabla 3 presenta el grado de abrasividad de las partículas de diamante en función de la granulometría;
- la figura 9 presenta una curva granulométrica de la fragmentación del polvo de diamante.

5

Descripción de uno o varios modos de realización o de puesta en práctica

1. Ejemplos de realización de un sistema polifuncional

10 1.1. Fases y reactores

El sistema polifuncional de aprovechamiento de materiales y/o de productos tal como se representa en la figura 1 comprende varias fases de reactores en serie, en este caso tres.

15 En el ejemplo de esta figura, cada fase comprende dos reactores, los cuales se denominan $R(i,j)$ en la figura, donde i y j son índices mudos que son números enteros tales que $1 \leq i \leq 3$ y $1 \leq j \leq 2$, estando los reactores distribuidos en tres fases (i) en serie:

- Fase 1: $R(1,1)$ y $R(1,2)$ - efecto indirecto (onda de choque mecánica).
- 20 - Fase 2: $R(2,1)$ y $R(2,2)$ - efecto directo (dislocación mediante arco eléctrico).
- Fase 3: $R(3,1)$ y $R(3,2)$ - secado.

La fase 1 de tratamiento mediante onda de choque mecánica permite fragilizar mediante onda de choque los materiales y/o productos a aprovechar. Los materiales o productos así fragilizados se fragmentan y pulverizan a 25 continuación en un segundo momento en la fase 2 (efecto directo del arco eléctrico). La fase 3 es una fase de secado.

La fase 1 - efecto indirecto

30 La fase 1 (de efecto indirecto) comprende dos reactores en paralelo, que funcionan en un ciclo desfasado. Se activa un reactor (en este caso, $R(1,1)$) mientras que el otro ($R(1,2)$) está en fase de carga o de descarga de materiales y/o productos.

La onda de choque mecánica se genera en el reactor que está funcionando, mediante descarga rápida de 35 energía eléctrica en el medio de reacción (líquido ambiental newtoniano o no newtoniano).

Tal como se ilustra en la figura 2, los reactores $R(1,1)$ y $R(1,2)$ (fase 1) comprenden varios pares de electrodos, en este caso tres pares de electrodos triaxiales ($E1, E'1$), ($E2, E'2$), ($E3, E'3$) (figura 3). Cada par está asociado a 40 un módulo de alimentación $M1, M2, M3$ de alta tensión y comprende, por un lado, un electrodo de múltiples puntas $E1, E2, E3$ asociado al borne positivo del módulo eléctrico de alta tensión $M1, M2, M3$ correspondiente; el otro electrodo $E'1, E'2, E'3$ es plano y está conectado a la masa (tierra).

La distancia entre dos electrodos ($E1, E'1$), ($E2, E'2$), ($E3, E'3$) de un mismo par se selecciona inferior a la 45 distancia umbral para generar una descarga eléctrica (distancia umbral que depende del campo eléctrico de ruptura dieléctrica y de la tensión aplicada entre el ánodo y el cátodo).

El líquido ambiental que contiene los materiales a tratar y/o a aprovechar es, por ejemplo, agua cuyas propiedades de cambio de fase en función de la tensión eléctrica y de la duración de impulso se conocen. Evidentemente, se puede utilizar cualquier otro líquido newtoniano o no newtoniano de resistividad conocida o 50 medible. En la figura 2, se ha representado un nivel bajo NB y un nivel alto NH entre los que se debe encontrar el nivel del líquido en el reactor.

La forma, la dimensión de los reactores $R(1,1)$ y $R(1,2)$, así como las de los electrodos, se seleccionan en 55 función de la aplicación prevista y de los materiales y/o productos a tratar.

La utilización de un reactor de fondo esférico cóncavo amplifica el efecto de la onda de choque generada por las descargas eléctricas con las reflexiones sobre la pared esférica del reactor.

Los módulos de alimentación $M1, M2, M3$ almacenan la energía electromagnética en elementos de carga 60 (condensadores o/y bobinas de altas prestaciones: generador de Marx), después la liberan en un circuito de descarga a través de un sistema de conmutación muy rápido (descargadores con un tiempo de conmutación comprendido, por ejemplo, entre 250 ns y 900 ns, preferentemente superior a 500 ns).

Las tensiones entre electrodos son del orden de varios kilovoltios.

65

La energía utilizada para cada reactor es del orden de 600 julios a 50000 julios, por ejemplo de 600 a 12000

julios según las aplicaciones.

La frecuencia de funcionamiento varía entre 0,5 Hz y 5 Hz, variando según las aplicaciones, por ejemplo entre 1 y 2 Hz para determinadas aplicaciones, y entre 2 y 5 Hz para otras aplicaciones.

El tiempo muerto entre dos descargas eléctricas consecutivas varía entre 200 ms y 1 s.

Con el efecto indirecto, se crean un arco eléctrico y un plasma, pero la onda de choque mecánica OCM generada presenta un efecto dominante durante la trituración, molienda, fragmentación, pulverización y separación de los elementos mediante compresión mecánica sobre dichos materiales y/o productos a tratar.

La molturación inducida por los impulsos en la cuba (reactor) provoca una homogeneización de los fragmentos facilitando su separación.

Esta onda de choque mecánica OCM se debe a una sucesión de sobrepresiones (compresiones) y de subpresiones (expansiones) generadas por las descargas eléctricas a través de los electrodos separados. La descarga de los electrodos en medio acuoso produce una explosión y un plasma caliente.

La energía mecánica transmitida mediante la onda de choque al medio viene dada por la ecuación (1):

$$E = \frac{1}{2} \rho u^2 \quad (1)$$

Donde ρ es la densidad del medio y u es la velocidad del frente de la onda.

La intensidad de la onda de choque es proporcional a la variación de la corriente de descarga eléctrica ya que existe una relación entre la potencia suministrada en el reactor y la variación de la corriente de descarga eléctrica (ecuación 2).

$$\frac{dE}{dt} = 2 \left[\frac{k s r^2}{3} \left(\frac{di}{dt} \right)_{t=0} \right]^{2/3} \quad (2)$$

siendo $i(t)$ la corriente de descarga eléctrica en el circuito y s' es la distancia entre los dos electrodos que generan el arco eléctrico y la onda de choque.

La energía de la onda de choque se puede escribir de la siguiente forma:

$$E(t) = \frac{4 \pi s^2}{\rho c} \int_0^t p^2(t) dt \quad (3)$$

Donde ρ es la densidad del medio, c es la celeridad de la onda en el medio, s es la longitud del canal de arco generado y p es la sobrepresión en el medio que viene dada por la relación (ecuación 4):

$$p(t) = p_0 e^{-t/\tau} \quad (4)$$

siendo p_0 (ecuación 5) el valor máximo de la sobrepresión producida mediante la onda de choque y τ una constante de tiempo que depende del módulo eléctrico.

$$p_0 = \frac{1}{s} \sqrt{\frac{\rho c E}{2 \pi \tau}} \quad (5)$$

La fase 2 - efecto directo

En el caso del efecto directo, el arco eléctrico atraviesa el líquido y pasa a través de los materiales y/o producto a aprovechar.

Para ello, los reactores R(2,1) y R(2,2) (fase 2) comprenden, cada uno, tres pares de electrodos de punta/plano (figura 2) (se puede aumentar el número de electrodos con el fin de amplificar el efecto de la descarga eléctrica sobre el material y/o producto a tratar modificando también la geometría del reactor, por ejemplo: un poliedro con un número de caras par, una cara sirve de ánodo y la otra enfrentada sirve de cátodo).

De la misma manera que para la fase 1, la energía eléctrica se almacena en módulos de alimentación M1, M2, M3, después se libera en un circuito de descarga a través de un sistema de conmutación ultrarrápido con un tiempo de conmutación comprendido entre 200 ns y 900 ns, pudiendo variar los conmutadores según las aplicaciones, por ejemplo, con tiempos de conmutación comprendidos entre 200 ns y 500 ns, o entre 250 ns y 900 ns.

Las tensiones entre electrodos son del orden de varios kilovoltios.

La energía utilizada para cada reactor es del orden de 50 julios a 1000 julios, pudiendo ser del orden de 100 julios a 1000 julios para determinadas aplicaciones.

La frecuencia de funcionamiento varía entre 1 Hz y 40 HZ, pudiendo variar entre 1 Hz y 20 Hz según las aplicaciones.

El tiempo muerto entre dos descargas eléctricas consecutivas varía entre 1 ms y 1 s.

Los descargadores de la fase 1 y de la fase 2 (elementos de desencadenamiento de la descarga rápida de los condensadores que almacenan energía) se pueden instalar en un recinto cerrado, relleno de un gas inerte (por ejemplo: nitrógeno) con dos ventajas:

- hacer que la tensión de ruptura sea independiente de la tasa de humedad existente,
- y permitir la recuperación y la evacuación del ozono generado de manera más sencilla.

Esta segunda fase de efecto directo permite separar los diferentes elementos constitutivos de dichos materiales y/o productos al verse atravesados por el arco eléctrico que conlleva una separación selectiva de los elementos que se debe al hecho de que el medio newtoniano o no newtoniano se vuelve eléctricamente más resistente que los materiales y/o productos a tratar durante el paso del arco, a la variación de la resistividad de los diferentes elementos constitutivos de dichos materiales y/o productos y al fenómeno de resonancia.

En el caso del efecto directo, la presencia de esferas elastoméricas en el reactor que presentan una rigidez superior a 1 N/cm y, dado el caso, un coeficiente de amortiguación viscosa adaptado (comprendido preferentemente entre 0,5 y 2 N.s/m) permite mejorar el tratamiento y el aprovechamiento de los productos. Estos elastómeros atenúan el efecto de la onda de choque, lo que favorece el efecto del arco eléctrico, de ahí una eficacia mejor con el efecto directo (fase 2).

La fase 3 - secado mediante microondas

Los reactores R(3,1) y R(3,2) comprenden, cada uno, un generador de microondas.

La tercera fase sirve de secado de materiales y/o productos por inducción térmica debida a las microondas generadas por este generador de microondas.

Esto facilita, por ejemplo, la separación de los elementos que constituyen los materiales y/o productos una vez fragmentados sin recurrir a métodos de secado clásicos que son costosos.

No obstante, las tres fases mencionadas anteriormente se pueden utilizar en cualquier orden.

Por ejemplo, la fase de secado se puede utilizar, previamente a la trituración por efecto directo (por ejemplo antes o después de la fragilización por efecto indirecto), para la fragilización de dichos materiales y/o productos por evaporación de las bolsas de agua presentes en el interior, lo que facilita la trituración y la separación en la fase de tratamiento por efecto directo.

Asimismo, pueden no utilizarse una o dos de las fases (i).

Como variante adicional, las tres fases anteriores se pueden modificar en un sistema continuo, al tiempo que se conservan los fenómenos que aplazan el aprovechamiento de los materiales y productos.

La eficacia del procedimiento (directo e indirecto) está asociada a la configuración geométrica de los electrodos y del reactor, al contenido energético y al perfil cronológico del sistema de ondas de choque generadas.

Se puede observar que:

- se forman burbujas de vapor localmente en el medio líquido (expansión) y posteriormente desaparecen (implosión). La energía liberada en la fase de implosión es superior a la liberada en la fase de expansión;
- el ajuste de los parámetros de funcionamiento permite solicitar el material o producto que a aprovechar de manera que:
 - se excita de manera simultánea el mayor número posible de modos propios del material o producto;
 - se aproxima a una sollicitación prácticamente instantánea (Dirac), de perfil oscilatorio limitado en el tiempo;
 - se alcanza una impedancia acústica en el material o producto a aprovechar de por lo menos: $3 \cdot 10^6$ (kg/m²·s).

En este contexto, la explosividad del material y/o producto a aprovechar permite, por un lado, alcanzar una tasa de cizallamiento suficiente, por otro lado, obtener una fragmentación selectiva, lo que optimiza el índice de Bond realizado.

1.2. Múltiples electrodos y electrodo de múltiples puntas

La elección de los electrodos depende del tipo de aplicación prevista y del material y/o producto a tratar. Con el fin de aumentar el campo de exposición de dicho material y/o producto a los arcos eléctricos y de multiplicar la generación de las ondas de choque, se pueden utilizar varios pares de electrodos de puntas/puntas, puntas/planos o múltiples puntas/planos en el sistema polifuncional, por tanto, el efecto de trituración, fragmentación y separación varía de una configuración a otra.

No obstante, se obtiene un mejor rendimiento con una configuración de electrodos de múltiples puntas/planos.

Las figuras 4a, 4b, 5a y 5b muestran dos ejemplos de electrodos de múltiples puntas.

En el caso de las figuras 4a y 4b, se trata de múltiples puntas MP cónicas, mientras que en el caso ilustrado en las figuras 5a y 5b, se trata de vástagos cuyos vértices son cuadrados (puntas cuadradas PC).

Las puntas están en sí mismas separadas por aberturas O que permiten atenuar el efecto de retorno de la onda de choque.

Durante una descarga eléctrica, cada vástago se considera como cuatro puntas adyacentes, lo que conlleva su autolimpieza mediante el paso del arco eléctrico (desprendimiento de las microburbujas presentes en las proximidades de las puntas).

Esta autolimpieza permite mejorar el rendimiento de trituración, fragmentación y separación de los elementos constitutivos de los materiales y/o productos tratados.

Por ejemplo, en el caso de una fase de fragilización mediante onda de choque mecánica (efecto indirecto), se introduce un par de electrodos de múltiples puntas (figura 4 y 5) y plano en un reactor; el soporte del electrodo contiene por ejemplo 68 ubicaciones (incluso más) separadas por aberturas para atenuar el efecto del retorno de la onda de choque. En cada ubicación se instala una punta cónica o un vástago cuyo vértice es cuadrado, lo que corresponde a cuatro puntas (una para cada vértice del cuadrado).

Se observará que una forma poliédrica es ventajosa para los reactores, ya que permite la introducción de varios pares de electrodos en cada reactor (de 1 a 15 pares, por ejemplo).

No obstante, se puede sustituir un reactor poliédrico por un reactor cilíndrico de fondo esférico cóncavo en el que el ánodo presenta una forma de múltiples puntas (figuras 4a, 4b y 5a, 5b) y en el que el cátodo es plano.

1.3. Sistema de mando

La figura 6 presenta un conjunto de mando del sistema polifuncional de aprovechamiento de los materiales y/o productos.

Comprende una unidad de control CC que controla descargadores CM y un generador de alta tensión AL que realizan intercambios con diferentes sensores. Se utilizan generadores de Marx en el caso del efecto directo, y se utilizan electrodos iniciadores en el caso del efecto indirecto. Los diferentes sensores comprenden, por ejemplo, un espectrógrafo de masas SPM, un cromatógrafo CH, sensores de presión y de temperatura CP y CT,

así como sensores de radiaciones UV.

El conjunto también comprende unos medios de adquisición y de ajuste de los parámetros de funcionamiento que permiten

- 5
- La adquisición de los datos;
 - El control;
 - El ajuste de los parámetros fundamentales de funcionamiento, en particular (lista no exhaustiva):
- 10
1. energía almacenada;
 2. tensión aplicada;
 3. tiempo de descarga;
 4. frecuencia de descarga;
 5. intensidad de cresta;
- 15
6. tiempo de residencia en el reactor.

La eficacia de la reducción de las dimensiones del material y/o producto a aprovechar se puede medir mediante los métodos de la teoría de la reducción de tamaño (índice de BOND, etc.).

20 • Controlador del generador de alta tensión

El almacenamiento de la energía electrostática en condensadores CO del módulo de alimentación se garantiza mediante el generador de alta tensión AL. Este generador AL se controla a distancia por el mismo control digital del sistema de mando del sistema polifuncional (unidad de control CC). Con este tipo de generador, se tiene la

25

posibilidad de determinar la tensión umbral del desencadenamiento del primer descargador en el circuito eléctrico y que inicia la descarga rápida de los condensadores CO.

Esto permite comparar la tensión umbral dada por la ley de Paschen y la suministrada por el generador de alta tensión.

30

• Control de la impedancia Z del reactor

El registro y el análisis de las señales referentes a la tensión en los bornes del reactor y la corriente de descarga eléctrica que atraviesa el circuito permiten determinar la impedancia Z de la carga (reactor) a partir del desfase

35

entre las dos señales y que depende a la vez de los componentes del circuito eléctrico en cuestión y del material y/o producto tratado.

Para un funcionamiento del procedimiento polifuncional con impedancia Z constante, basta con modificar la distancia entre electrodos en el reactor con la ayuda un sistema de motorización automatizado e incluido en dicho sistema de mando.

40

• Automatismo de sensores de presión, temperatura y UV, cromatógrafo y espectroscopio de masas

Se asocian al sistema polifuncional aparatos de medición y de análisis: sensores de presión CP, termopares CT, detectores de radiación UV (capUV), analizador de cromatógrafo CH, espectroscopio de masas SPM, etc. El control de estos medios de medición y de análisis se garantiza por medio del control digital CC del sistema de mando del sistema polifuncional.

45

50

1.4. Detección de las radiaciones UV, cromatografía y espectroscopía de masas

Radiaciones UV

El análisis de las señales de detección de las radiaciones UV emitidas por los arcos eléctricos que se desencadena en los descargadores (que asocian los condensadores) y entre los electrodos introducidos en un reactor, permite saber si dicho sistema polifuncional funciona y, en particular, si se produce la descarga de los condensadores de alta tensión. Estas señales en cuestión se transmiten hacia el sistema de mando a través de las fibras ópticas para evitar perturbaciones provocadas por el campo electromagnético que reina durante el funcionamiento de dicho sistema polifuncional.

55

Cuando el sistema de mando ha detectado, a través de esta información, la no descarga de los condensadores, controla la conexión a tierra del conjunto de los condensadores para descargarlos y evitar el riesgo de dañarlos. Esto reduce el coste de conservación y mantenimiento de dicho procedimiento polifuncional.

60

Cromatografía / espectrografía de masas

65

Durante el tratamiento de los materiales y/o productos mediante el sistema polifuncional, se generan gases a

través de las reacciones químicas (por ejemplo H₂S).

El análisis de estos gases mediante un cromatógrafo y un espectroscopio de masas durante el desarrollo de los ensayos permite proporcionar información referente al estado de avance de la trituración, fragmentación y separación de los elementos constituyentes de los materiales y/o productos tratados.

El análisis de una parte de los materiales y/o productos durante el tratamiento mediante el sistema polifuncional en tiempo real o tras la detención de las descargas eléctricas mediante cromatografía y espectroscopía de masas (figuras 7a y 7b) permite obtener información utilizada en particular para optimizar la energía inyectada en el reactor limitando o deteniendo las descargas eléctricas. También se puede aprovechar para automatizar la carga y la descarga de los reactores. Las figuras 7a y 7b muestran picos correspondientes a cadenas de carbono dadas.

La figura 7a muestra un análisis cualitativo de arena bituminosa tras un tratamiento mediante el sistema polifuncional, se observan picos que corresponden a hidrocarburos que presentan un determinado número de enlaces carbono/carbono.

La figura 7b representa un análisis mediante cromatografía de gases acoplada con una detección mediante espectrometría de masas, se constata la presencia de un pico correspondiente a compuestos entre C₂₀ y C₄₀.

Por ejemplo, el sistema puede comprender una base de datos que hace una lista, para productos dados, de las curvas granulométricas en función de tasas de liberación gaseosa medidas, de energía desplegada, del número de disparos (descargas eléctricas) y de los gases generados.

Otras mediciones

La medición de la presión en el interior del reactor en algunos puntos permite evaluar el efecto de la onda de choque generada teniendo en cuenta las características mecánicas de los materiales y/o productos a tratarse o a aprovechar.

Los productos obtenidos se analizan además mediante granulometría de láser o sobre una columna de tamiz de granulometría decreciente (que varía entre algunos µm y algunos mm).

En el caso de las aplicaciones (ejemplo: menas y minerales, arena y esquisto bituminosos, etc.) en las que el sistema polifuncional genera gases tales como sulfuro de hidrógeno H₂S durante el aprovechamiento de dichos materiales y/o productos, la recuperación de este gas y la medición de su concentración permiten disponer de elementos importantes sobre el estado de trituración y de fragmentación de los materiales y/o productos. Si la concentración de este gas tiene tendencia a estabilizarse, esto se explica por el hecho de que la separación del elemento azufre presente en los materiales y/o productos ha alcanzado su punto óptimo.

2. Ejemplos de aplicaciones específicas del procedimiento polifuncional

Los siguientes ejemplos se facilitan a modo ilustrativo y no se pretende que sean limitativos.

2.1. Tratamiento de las menas (metálicas, no metálicas) y minerales industriales

Las menas son rocas particulares que contienen, en proporciones económicamente recuperables, metales, minerales y otros elementos necesarios para las actividades económicas industriales o agrícolas. Esquemáticamente, están constituidas por los minerales propiamente dichos y por una ganga estéril en proporción variable según el tipo de mena y el tipo de yacimiento.

Desde un punto de vista químico, pueden estar constituidas por sulfuros metálicos (pirita, pirrotina, calcopirita, esfalerita, molibdenita, galena, etc.), óxidos (magnetita, rutilo, etc.), carbonatos (smithsonita, calamina, etc.), o cualquier otra asociación química. También pueden estar compuestas por metales o minerales nativos o buscados tales como: oro, diamante, esmeraldas, minerales industriales; distena, granate, silimanitas, wollastonitas, fosfatos, etc.

Para recuperar los metales o minerales contenidos en las menas, se necesita una serie de operaciones, en función del tipo de mena extraído: molienda primaria y secundaria, trituración, flotación, concentración mecánica o química, cianuración, calcinado, etc.; hasta la obtención de un concentrado comercial.

El procedimiento propuesto se puede aplicar tanto a las primeras etapas del tratamiento de la mena (fracturación, fragmentación, liberación de los constituyentes, homogeneización y dispersión de los productos), como a las etapas de tratamiento para la mejora de los productos obtenidos durante el tratamiento primario.

En particular, las menas y minerales se someten sucesivamente a ondas mecánicas (fase 1) y al cruce a través

de arcos eléctricos (fase 2).

La energía utilizada está comprendida entre 100 julios y 1000 julios para el efecto directo (fase 2); y varía entre 5000 julios y 10000 julios en el caso del efecto indirecto (fase 1).

La frecuencia de funcionamiento (de repetición) varía entre 1 Hz y 2 Hz para la fase 1 y entre 1 Hz y 20 Hz para la fase 2.

El tiempo muerto entre dos descargas eléctricas consecutivas varía entre 1 ms y 1 s.

En la fase 2, el impulso eléctrico generado a través del material conlleva la dislocación de los granos en los contactos entre gránulos y también en el interior de los propios granos en función de sus características propias de resistividad eléctrica y de su frecuencia de resonancia.

A modo de ilustración, la aplicación del sistema polifuncional sobre un mena con una masa de 795 g y cuya composición química está representada en la tabla 1, permite obtener los resultados que muestra la curva de la figura 8 tras 820 descargas eléctricas que transmiten cada una a la mena una energía de 200 J, con un tiempo muerto de 10 ms y una duración media de descarga comprendida entre 40 y 50 μ s, esta curva muestra que la mayoría de los fragmentos presentan una granulometría comprendida entre 80 y 600 μ m.

El impulso eléctrico generado a través del material conlleva la dislocación de los granos en los contactos entre gránulos y también en el interior de los propios granos en función de sus características propias de resistividad eléctrica y de su frecuencia de resonancia. Este fenómeno conlleva por tanto la liberación de casi la totalidad de los granos unos de otros desde los primeros momentos de la reacción.

El procedimiento permite por tanto obtener grados de liberación muy elevados (superiores al 70% para determinados minerales, pirita, esfalerita en menas de cinc, por ejemplo), para granulometrías superiores a 200 μ m, mientras que este resultado necesita granulometrías muy inferiores a 100 μ m mediante las técnicas tradicionales.

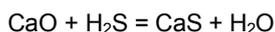
Por ejemplo, la tasa de liberación de los minerales puede alcanzar el 80% para una granulometría situada en el intervalo de [100 μ m; 200 μ m] (tabla 2).

La carga eléctrica de energía muy alta de los materiales y las condiciones particulares del medio ambiental durante el impulso (transición entre una fase conductora y una fase resistente, generación de iones OH⁻ y H⁺ libres en contacto con un medio altamente energético, excitación de las capas atómicas externas en los cristales provocando una dilatación "explosiva" y transitoria de los enlaces atómicos), conllevan la ruptura de los enlaces "débiles" (por ejemplo Mo-S, Fe-S, Cu-S, Pb-S, etc.) y la expulsión de iones metálicos y de los iones sulfuro en el medio ambiental, en el que se recombinan con los iones OH⁻ para dar hidróxidos metálicos, y con los iones H⁺ para dar sulfuros de hidrógeno en el caso de los sulfuros.

Se observa un gran desprendimiento de H₂S durante las pruebas y una aparición de franjas de reacción "expulsivas" alrededor de los granos de pirita y esfalerita, incluso la disolución de un porcentaje no despreciable del cobre en el medio ambiental durante las mismas pruebas.

Estas reacciones químicas electrocinéticas presentan como efecto una eliminación del azufre presente en menas y por tanto un enriquecimiento en metales aprovechables sin pasar previamente por una etapa de enriquecimiento específica mediante reactivos químicos contaminantes.

El sulfuro de hidrógeno desprendido durante la trituración de determinados materiales y/o productos (en particular determinadas menas) presenta riesgos tóxicos y, por motivos de seguridad, el H₂S se neutraliza por vía química o bien en el reactor o bien en el exterior (con la adición de productos químicos). A modo de ejemplo se puede mencionar su reacción con la cal CaO:



El tratamiento propuesto presenta por tanto la doble ventaja:

- por un lado, de aumentar la fragmentación y la liberación de los constituyentes unitarios de la mena a granulometrías superiores a las habitualmente necesarias, de ahí una ganancia de tiempo y de energía muy significativa, y
- por otro lado, de favorecer el enriquecimiento de la mena por medio de electrocinética química sin pasar por reactivos y otros tratamientos contaminantes.

2.2. Fragmentación y separación de estaurolitas con molibdeno

Los ensayos realizados sobre estaurolitas con molibdeno procedentes de Marruecos se asemejan mucho a los ensayos sobre los minerales sulfurados descritos anteriormente.

La mena estudiada está constituida por *skarns* con granates extremadamente abrasivos y duros que encierran del 1 al 5% de molibdenita, así como scheelita (mena de tungsteno) y calcopirita.

La roca es muy difícil de moler y la trituración de la mena mediante métodos tradicionales, para llegar a una malla de liberación del orden de 100 µm, es larga y muy costosa.

Por otro lado, la molibdenita (MoS) presenta características lubricantes y aparece en forma de finas láminas que se comprimen y se aplastan durante la trituración, y se evalúa que las pérdidas de este metal durante la trituración son de casi el 20%.

El tratamiento mediante el procedimiento polifuncional aporta una solución eficaz a la fragmentación de la estaurolita y al aprovechamiento de la mena.

La energía utilizada está comprendida entre 50 julios y 1000 julios para el efecto directo (fase 2); varía entre 1000 julios y 50000 julios en el caso del efecto indirecto (fase 1).

La frecuencia de funcionamiento (de repetición) varía entre 1 Hz y 2 Hz para la fase 1 y entre 5 Hz y 40 Hz para la fase 2.

El tiempo muerto entre dos descargas eléctricas consecutivas varía entre 1 ms y 1 s.

A modo de ejemplo y para un ensayo realizado sobre este tipo de mena en la fase 2 (efecto directo), la aplicación de 300 impulsos (400 J por descarga) permite fragmentar totalmente la estaurolita que se reduce para dar una harina con una granulometría del orden de 500 µm. Con 300 impulsos, la mayor parte del producto se fragmenta y se reduce a una granulometría de 200 µm. Los granos de molibdenita (MoS) se liberan totalmente de su matriz de granate a partir de los 200 µm. Simplemente desde el punto de vista de los efectos mecánicos, el procedimiento polifuncional del "sistema polifuncional" puede por tanto triturar y micronizar una estaurolita sin ningún desgaste de piezas móviles, sin aplastamiento y con una tasa de liberación elevada, y una recuperación mejor que con los métodos tradicionales.

2.3. Ecoindustria - materiales compuestos

Los materiales compuestos son candidatos excelentes para dicho sistema polifuncional que permite desensamblar los materiales compuestos no miscibles sin recurrir a productos químicos. A modo de ejemplos no exhaustivos, se pueden citar dos tipos principales de materiales compuestos:

- Fibras de vidrio (GLARE: "GLASS REinforced", vidrio reforzado)
- Paneles fotovoltaicos
- Los materiales compuestos que comprenden fibras de carbono

La mayor parte de los materiales compuestos, excepto el hormigón armado, son a base de fibras minerales o sintéticas unidas mediante polímeros termoendurecibles que hacen que su reciclaje sea difícil. Además, con frecuencia se intercalan entre capas metálicas (aleaciones de aluminio u otros metales). Ninguna tecnología actual, salvo la disolución en ácidos costosos y muy contaminantes, permite la recuperación de las fibras y su reciclaje.

El medio líquido utilizado en este método es el agua, pero se puede utilizar cualquier otro líquido newtoniano o no newtoniano con la condición de conocer su resistividad eléctrica y que ésta sea adecuada.

Se pueden mencionar varios ejemplos en el contexto de esta aplicación.

a) Separación de la película de plástico y resina de acrilobutadieno-estireno insertada entre dos capas de vidrio en los parabrisas laminados

La aplicación del sistema polifuncional al vidrio laminado consiste en separar la película de plástico y resina (acrilo-butadieno-estireno: ABS) insertada entre dos capas de vidrio mediante la técnica utilizada en este procedimiento (efecto directo). Los impulsos eléctricos generados por el sistema polifuncional provocan la fragmentación del vidrio laminado y la separación del ABS y del vidrio mediante el efecto mecánico de los impulsos (dilatación y aparición de tensiones "explosivas" en el vidrio). El bajo número de impulsos necesarios para la fragmentación del vidrio no permite que las reacciones de electrocinética química actúen sobre la estructura molecular del ABS de manera significativa. Por tanto, la lámina de ABS se separa fácilmente del vidrio

sin tratamiento químico particular.

Los materiales se someten a ondas mecánicas (fase 1) y al cruce a través de arcos eléctricos (fase 2).

5 Para esta aplicación, la fase 2 es suficiente para aprovechar este tipo de materiales. Se obtienen resultados muy eficaces (fragmentación y separación de los elementos que constituyen este tipo de materiales) a partir de 300 descargas eléctricas que presentan, cada una, una energía de 500 J, la duración media de estas descargas es del orden de algunas decenas de μs (comprendida entre 40 y 50 μs), el tiempo de conmutación está comprendido entre 250 y 500 ns, el tiempo muerto que separa dos descargas sucesivas está comprendido preferentemente entre 10 y 100 ms y la frecuencia de repetición está comprendida entre 8 y 40 Hz.

Se obtiene la fragmentación del vidrio y la separación de los diferentes elementos constitutivos de tipo de materiales compuestos: resina y película de plástico.

15 b) Fragmentación de los paneles fotovoltaicos y separación de los diferentes constituyentes

Los paneles fotovoltaicos forman parte de los materiales compuestos, están compuestos en general por vidrio templado, polímeros, silicio, aluminio y Tedlar (poli(fluoruro de vinilo)). El procedimiento permite fragmentar este tipo de materiales y separar fácilmente sus diferentes elementos constitutivos mediante una separación selectiva debida al arco eléctrico que atraviesa estos materiales. Dicha separación selectiva se explica por la variación de la resistividad de los diferentes elementos presentes en los paneles fotovoltaicos.

Los productos recuperados son: partículas y fragmentos de vidrio, silicio, aluminio, polímeros (por ejemplo: EVA) y Tedlar (poli(fluoruro de vinilo)).

25 Dichos paneles fotovoltaicos se someten a ondas mecánicas (fase 1) y al cruce a través de arcos eléctricos (fase 2).

30 La energía utilizada está comprendida entre 400 julios y 1000 julios para el efecto directo (fase 2) y varía entre 6000 julios y 10000 julios en el caso del efecto indirecto (fase 1).

La frecuencia de funcionamiento (de repetición) varía entre 0,5 Hz y 2 Hz para la fase 1 y entre 5 Hz y 20 Hz para la fase 2.

35 Las duraciones de las descargas eléctricas son respectivamente del orden de algunos centenares de μs (entre 500 y 800 μs para la fase 1) y de algunas decenas de μs (entre 40 y 60 μs para la fase 2).

El tiempo muerto entre dos descargas eléctricas consecutivas varía entre 1 ms y 1 s.

40 Se obtiene la fragmentación de los materiales compuestos y la separación de los diferentes elementos constitutivos mediante una separación selectiva debida al arco eléctrico que atraviesa estos materiales. Los productos recuperados son: partículas y fragmentos de vidrio, silicio, aluminio, polímeros (por ejemplo: EVA) y Tedlar (poli(fluoruro de vinilo)).

45 c) Fragmentación y disociación de las tarjetas y componentes electrónicos

El sistema polifuncional, denominado "procedimiento polifuncional", permite separar los diferentes componentes de las tarjetas electrónicas. Según las mismas modalidades que las descritas anteriormente: fragmentación electrocinética mediante dilación y tensiones pulsadas "explosivas" que separan los componentes metálicos conductores de las tarjetas de fibras sintéticas. Los elementos compuestos de cerámicas se fragmentan para dar polvos finos y los constituyentes metálicos que contienen se pueden recuperar por vía física.

De ahí la recuperación posible de constituyentes aprovechables tales como el cobre, la plata, el oro, metales raros, etc.

55 Los residuos de equipos eléctricos y electrónicos (tarjetas electrónicas que contienen baquelita, vidrio epoxídico sencillo y de múltiples capas; circuitos impresos compuestos por vidrio epoxídico sencillo y de múltiples capas, capas de cobre; semiconductores y circuitos integrados) se someten a ondas mecánicas (fase 1) y al cruce a través de arcos eléctricos (fase 2).

60 La energía utilizada está comprendida entre 500 julios y 1000 julios para el efecto directo (fase 2); varía entre 5000 julios y 10000 julios en el caso del efecto indirecto (fase 1).

65 La frecuencia de funcionamiento (de repetición) varía entre 0,5 Hz y 2 Hz para la fase 1 y entre 1 Hz y 20 Hz para la fase 2.

Con respecto a esta aplicación, se ha elegido un tiempo muerto de 300 ms para la fase 1 y de 10 ms para la fase 2.

5 Los constituyentes se separan mediante fragmentación y separación selectiva y las partes metálicas se desprenden completamente de los componentes de plástico.

Los constituyentes se fragmentan, se dislocan y se disocian a una granulometría de 500 µm.

10 d) Tratamiento de residuos industriales compuestos por fibras de carbono unidas mediante resinas

Los materiales compuestos que comprenden fibras de carbono, resina y metales son candidatos excelentes para dicho sistema polifuncional que permite desensamblar los materiales compuestos sin recurrir a productos químicos.

15 Se introducen dos electrodos en un reactor cilíndrico de fondo esférico para amplificar el efecto de la onda de choque generada por las descargas eléctricas, el primer electrodo es de múltiples puntas y está unido al borne positivo y el segundo es plano y está unido a la masa (tierra), su forma y dimensión dependen de los materiales a tratar.

20 El aprovechamiento de los residuos industriales mediante el sistema polifuncional se traduce en la separación de los constituyentes de partida a partir de algunos centenares de descargas eléctricas (energía por descarga superior a 100 julios) según modalidades comparables a la demostración anterior: efecto dinámico de fragmentación acompañado por un efecto electrocinético. A partir de 300 impulsos se llega a separar la resina del material compuesto según la conductividad propia de los diferentes constituyentes. Esta resina permanece
25 atrapada en el medio líquido ambiental. Una vez separada la resina del material compuesto, se recuperan fibras de carbono para una reutilización sin tratamiento químico particular. Con el microscopio electrónico, estas fibras de carbono aparecen totalmente exentas de resina polimérica. Están localmente erosionadas por esquirlas en cúpula y más allá de un número dado de impulsos, y presentan un fenómeno de enredo que traduce variaciones de alargamiento y de dilatación en los haces de fibras tratadas. Por tanto, es importante calibrar correctamente el
30 número de impulsos y la potencia de estos impulsos para obtener fibras exentas de resina y directamente reciclables.

35 Para esta aplicación, la energía de una descarga eléctrica puede variar entre 100 julios y 1000 julios para la fase 2 de efecto directo, y entre 600 julios y 12000 julios para la fase 1 de efecto indirecto, su duración es del orden de algunas decenas de microsegundos, y su frecuencia está comprendida entre 2 Hz y 20 Hz para la fase 1 de efecto indirecto, y entre 1 Hz y 5 Hz para la fase 2 de efecto directo.

40 e) Separación de remaches de fijación metálicos (por ejemplo titanio o aluminio) insertados en una estructura de base de fibras de carbono unida mediante resinas poliméricas termoendurecibles y cualquier ensamblaje laminado de metal/fibra de carbono o fibra mineral.

Los materiales compuestos que comprenden fibras de carbono, resina y metales son candidatos excelentes para dicho sistema polifuncional que permite desensamblar los materiales compuestos sin recurrir a productos químicos.

45 Se introducen dos electrodos en un reactor cilíndrico de fondo esférico para amplificar el efecto de la onda de choque generada por las descargas eléctricas, el primer electrodo es de múltiples puntas y está unido al borne positivo y el segundo es plano y está unido a la masa (tierra), su forma y dimensión dependen de los materiales a tratar.

50 La invención permite separar dichos remaches de fijación o las estructuras intercaladas metálicas del resto del material. El empleo del sistema polifuncional se traduce en la separación de los remaches de fijación a partir de algunos centenares de descargas eléctricas según modalidades comparables a la demostración anterior: efecto dinámico de fragmentación acompañado por un efecto electrocinético que disloca los puntos de fijación de
55 remaches y provoca su arrancamiento.

El tratamiento de una estructura a base de fibras de carbono mediante este procedimiento permite obtener después fibras de carbono cuyo tamaño varía según el número de impulsos eléctricos.

60 Para esta aplicación, la energía de una descarga eléctrica puede variar entre 100 julios y 1000 julios para la fase 2 de efecto directo, y entre 600 julios y 12000 julios para la fase 1 de efecto indirecto. Su duración es del orden de algunos milisegundos, y su frecuencia está comprendida entre 2 Hz y 40 Hz para la fase 1 de efecto indirecto, y entre 1 Hz y 5 Hz para la fase 2 de efecto directo.

2.4. Fragmentación y trituración de polvo de diamantes

Actualmente, la trituración de los polvos de diamantes abrasivos se realiza mediante desgaste en trituradores específicos. La duración de trituración para obtener una granulometría del orden de 20 micrómetros es superior a veinte horas. Además es prácticamente imposible obtener diamantes de dimensiones nanométricas en cantidad suficiente para estos métodos clásicos.

La utilización del sistema polifuncional provoca una fragmentación electrocinética mediante dilatación y tensión pulsadas “explosivas” sobre los cristales de diamante tratados, provocando su estallido formando esquirlas con una tasa de abrasividad muy grande. El tiempo de tratamiento para obtener el 50% de granos de un tamaño inferior a 50 μm es del orden de algunos minutos. Teniendo en cuenta el modo de abrasión por agrietamiento del diamante, la granulometría final sólo está limitada por la duración y el número de los impulsos. Por tanto, es perfectamente posible realizar polvos de diamante de tamaño nanométrico mediante esta técnica.

El polvo de los diamantes se somete a ondas de choque mecánicas (fase 1) con el fin de romper las partículas frágiles, después al cruce a través de arcos eléctricos (fase 2) para fragmentar las partículas más duras. El resultado es la fragmentación y la micronización de las partículas de diamantes.

Se observa una flotación de algunas partículas muy finas de diamantes, esto se debe a los fenómenos de capilaridad y humectabilidad. La adición de productos tensioactivos permite la migración de estas partículas de diamantes al fondo del reactor para exponerlas mejor al arco eléctrico y a la onda de choque, de ahí una mejor fragmentación y una mejor trituración del polvo de diamantes.

A modo de ejemplo, la energía desplegada para el tratamiento previo del polvo de diamante (diámetro comprendido entre 400 y 500 μm) en el reactor de la fase 1 es del orden de 4000 J por descarga eléctrica, tras una aplicación de 50 descargas eléctricas, el polvo de diamante recuperado se introduce en el reactor de la fase 2 para someterse a 1000 impulsos con una energía de 200 J por impulso.

Las frecuencias de funcionamiento (de repetición) en las fases 1 y 2 son respectivamente del orden de 0,5 Hz (fase 1) y 2 Hz (fase 2).

Los tiempos muertos entre dos descargas eléctricas consecutivas son del orden de 500 ms para la fase 1 y 900 ms para la fase 2 (lo que permite que las partículas finas de diamante se reagrupen y alcancen el fondo del reactor con el fin de favorecer la acción del arco eléctrico y el efecto mecánico de la onda de choque sobre las partículas del diamante).

Se añaden productos tensioactivos al líquido ambiental, con el fin de remediar los efectos de humectabilidad y de capilaridad.

Un sistema de chorros de agua en el interior de los reactores impide o limita el contacto de las partículas de diamante con el cátodo y reduce el tratamiento de las impurezas.

El cátodo se caracteriza por propiedades ferromagnéticas que permiten un tratamiento de separación de las impurezas mediante un campo magnético.

Se solicita una granulometría inferior a 20 μm y se alcanza muy rápidamente (aproximadamente 2 minutos).

El grado de abrasividad de los diamantes aumenta a medida que se produce la fragmentación reduciendo la granulometría de las partículas (tabla 3).

La mediana A/R del grado de abrasividad de los diamantes es del orden de 1,39 para diamantes con un tamaño de 180 μm a 300 μm ; pasa a 1,55 para una granulometría de 50 μm a 70 μm y alcanza 1,63 para diamantes con tamaños comprendidos entre 20 μm y 50 μm (véase la tabla 3).

La figura 9 muestra la curva granulométrica de la fragmentación del polvo del diamante mediante el sistema polifuncional, la presencia de dos gaussianas en la curva se explica por la realización de dos análisis granulométricos: uno para partículas que presentan una granulometría inferior a 180 μm y otro para partículas cuya granulometría es superior a 180 μm .

2.5. Recuperación de betún a partir de las arenas y esquistos bituminosos

Una arena bituminosa (o petrolífera) es una mezcla de betún crudo, que es una forma semisólida de petróleo crudo, de arena, de arcilla mineral y de agua. Dicho de otro modo, es una arena rodeada por una capa de agua sobre la que se deposita una película de betún. Cuanto más espesa es la película del betún, mejores son las arenas bituminosas. Tras la extracción y transformación de las arenas bituminosas, se obtiene el betún, que es una mezcla de hidrocarburos en forma sólida, o de líquido denso, espeso y viscoso. Los yacimientos de arena

bituminosa que representan una fuente importante de petróleo crudo sintético, o no convencional, se encuentran en particular en Alberta, Canadá y en la cuenca del río Orinoco, en Venezuela. Se estima que las reservas totales de arenas y esquistos bituminosos superan las de petróleo a nivel mundial.

5 También existen yacimientos de esquistos bituminosos y de caliza bituminosa.

El tratamiento de las arenas y esquistos bituminosos es complejo y muy difícil. La trituración convencional no permite separar el betún de su ganga estéril de arena-esquisto y la presencia de azufre es un gran factor penalizante para los procedimientos de tratamiento térmico. Los diferentes disolventes utilizados se vuelven inutilizables por la dificultad de triturar y separar el betún de su huésped de arena / esquisto.

El sistema polifuncional utilizado para el tratamiento de los esquistos y arenas bituminosos tiene como efecto la dispersión total de los diferentes elementos constitutivos de la arena y la separación de los granos de arenas y arcillas del betún.

Los impulsos eléctricos emitidos en una cubeta atraviesan la arena bituminosa, y los efectos de electrocinética mecánica (expansión / contracción) separan los granos de arena del betún. El propio betún se fragmenta en partículas muy finas y se pone en suspensión en el medio ambiental, y por tanto se puede separar fácilmente de la matriz de arena o de esquistos.

Dichas arenas y esquistos bituminosos se someten a ondas mecánicas (fase 1) y al cruce a través de arcos eléctricos (fase 2). Este tratamiento permite fragmentar dichas arenas y esquistos bituminosos y separar completamente los hidrocarburos de su matriz de arena-esquisto.

25 Las cadenas largas de los hidrocarburos se rompen y se reducen para dar cadenas cortas (C8 a C40, figuras 7a y 7b) pertenecientes a sustancias líquidas y sólidas y que también dan lugar a sustancias volátiles (gases).

La energía utilizada está comprendida entre 50 julios y 1000 julios para el efecto directo (fase 2), y varía entre 1000 julios y 50000 julios en el caso del efecto indirecto (fase 1).

30 La frecuencia de funcionamiento (de repetición) varía entre 0,5 Hz y 2 Hz para la fase 1; entre 1 Hz y 20 Hz para la fase 2.

35 Con el efecto directo, la duración media de las descargas eléctricas varía entre 40 y 60 μ s, mientras que con el efecto indirecto está comprendida entre 200 y 800 μ s.

Los tiempos muertos entre dos descargas eléctricas consecutivas son del orden de 200 ms para la fase 1 y 10 ms para la fase 2.

40 Los efectos electrocinéticos y químicos:

La carga eléctrica de energía muy alta de los materiales y la situación particular del medio ambiental durante el impulso (transición entre una fase conductora y una fase resistente, generación de iones OH⁻ y H⁺ libres en contacto con un medio altamente energético, excitación de las capas atómicas externas en moléculas largas de hidrocarburos (C300 a C400)) conllevan la ruptura de los enlaces "débiles" en el interior de estas moléculas largas transformándolas en alcanos de cadenas lineales y ramificadas y más cortas (C8 a C12, figura 7a; C20 a C40, figura 7b).

Por tanto, el tratamiento presenta la doble ventaja:

- 50 - por un lado, de aumentar la fragmentación y la liberación de los constituyentes unitarios del esquisto y la arena bituminosos a granulometrías inferiores a las habitualmente obtenidas, de ahí una ganancia de tiempo y de energía muy significativa, y
- 55 - por otro lado, de favorecer el craqueo del betún por medio de electrocinética química sin pasar por reactivos y otros tratamientos contaminantes.

2.6. Descontaminación de las tierras y lodos contaminados por metales pesados e hidrocarburos

60 El procedimiento se puede utilizar para descontaminar tierras y lodos contaminados por metales pesados (arsénico, plomo, cadmio, cromo, cobre, níquel, cinc y mercurio) e hidrocarburos (C10 a C40: estado líquido y sólido, hidrocarburos aromáticos).

65 Para ello, las tierras y los lodos contaminados por metales pesados e hidrocarburos se someten a ondas mecánicas (fase 1) y al cruce a través de arcos eléctricos (fase 2).

Esto permite separar los diferentes elementos constitutivos de las tierras y los lodos contaminados por metales pesados e hidrocarburos mediante fragmentación y separación selectiva.

5 Entonces se recuperan hidrocarburos (C10 a C40: estado líquido y sólido, hidrocarburos aromáticos) y metales pesados (arsénico, plomo, cadmio, cromo, cobre, níquel, cinc y mercurio).

La energía utilizada está comprendida entre 50 julios y 1000 julios para el efecto directo (fase 2); varía entre 1000 julios y 50000 julios en el caso del efecto indirecto (fase 1).

10 La frecuencia de funcionamiento (de repetición) varía entre 0,5 Hz y 2 Hz para la fase 1 y entre 1 Hz y 20 Hz para la fase 2.

15 El tiempo muerto entre dos descargas eléctricas consecutivas es del orden de 10 ms en la fase 2 y 300 ms en la fase 1.

Con el efecto directo, la duración media de las descargas eléctricas varía entre 40 y 60 μ s, mientras que con el efecto indirecto está comprendida entre 200 y 800 μ s.

20 2.7. Aprovechamiento de componentes con uranio en las barras de combustibles nucleares

Otra aplicación concebible es el aprovechamiento de componentes con uranio en las barras de combustibles nucleares.

25 La fragilización y la fragmentación de los elementos de cerámica que constituyen las barras de combustibles nucleares se producen una vez que los productos se someten a ondas mecánicas (fase 1) y al cruce a través de arcos eléctricos (fase 2).

30 Uno de los tres electrodos de un reactor de la fase 2 se puede sustituir por una barra irradiada. Un reactor en forma de una cámara cilíndrica es adecuado para las barras irradiadas a tratar con un electrodo de múltiples puntas en el que cada punta o vástago (figura 4 y 5) se sustituye por una barra irradiada que permite favorecer la dispersión de los granos en el medio líquido para permitir una clasificación gravimétrica de los productos. Con un electrodo de múltiples puntas, se puede tratar un número importante de barras irradiadas a la vez mediante el procedimiento polifuncional.

35 La energía utilizada está comprendida entre 500 julios y 1000 julios para el efecto directo (fase 2); varía entre 5000 julios y 10000 julios en el caso del efecto indirecto (fase 1).

40 La frecuencia de funcionamiento (de repetición) varía entre 0,5 Hz y 2 Hz para la fase 1 y entre 1 Hz y 20 Hz para la fase 2.

El tiempo muerto entre dos descargas eléctricas consecutivas varía entre 1 ms y 1 s.

45 Con el efecto directo, la duración media de las descargas eléctricas varía entre 40 y 60 μ s, mientras que con el efecto indirecto está comprendida entre 200 y 800 μ s.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de aprovechamiento de materiales y/o productos por potencia pulsada según el cual se genera una sucesión de descargas eléctricas entre por lo menos dos electrodos en un reactor que recibe un líquido ambiental así como los materiales y/o productos a aprovechar, en el que la sucesión de dichas descargas eléctricas produce, debido a la energía, a la frecuencia de las descargas eléctricas, así como debido a la tensión entre los electrodos y el tiempo de conmutación, una onda de choque mecánica que se propaga sobre los materiales y/o productos a tratar en el reactor, caracterizado por que tras una primera etapa de fragilización mediante la onda de choque mecánica así producida, se hace que los productos y/o materiales experimenten una sucesión de descargas eléctricas cuya energía, tensión entre los electrodos que las generan, tiempo de conmutación y frecuencia de descarga se seleccionan de manera que dichas descargas realizan una trituración del material por efecto directo de las descargas eléctricas, y por que se realiza un secado de los materiales y/o productos por inducción térmica debida a una generación de microondas.
2. Procedimiento según la reivindicación anterior, en el que la etapa de secado interviene al final de la etapa de trituración por efecto directo.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de secado es una etapa de fragilización de los materiales o productos, que interviene previamente a la etapa de trituración por efecto directo.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la energía de una descarga eléctrica de una sucesión de descargas que produce una onda de choque mecánica está comprendida entre 1000 julios y 50000 julios.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la frecuencia de funcionamiento de una sucesión de descargas que produce una onda de choque mecánica está comprendida entre 0,5 Hz y 40 Hz.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la energía de una descarga eléctrica de una sucesión de descargas que produce una trituración del material por efecto directo de arcos eléctricos está comprendida entre 50 julios y 1000 julios.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la frecuencia de funcionamiento de una sucesión de descargas que produce una trituración del material por efecto directo de arcos eléctricos está comprendida entre 1 Hz y 20 Hz para la fase 2.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el tiempo muerto entre dos descargas eléctricas consecutivas varía entre 1 ms y 1 s.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el tiempo de conmutación de una descarga de una sucesión de descargas que produce una onda de choque es superior a 500 ns.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el tiempo de conmutación de una descarga de una sucesión de descargas que produce una trituración de materiales por efecto directo de arcos eléctricos es inferior a 500 ns.
11. Sistema de aprovechamiento de materiales y/o productos por potencia pulsada que comprende por lo menos un reactor que recibe un líquido ambiental así como los materiales y/o productos a aprovechar, así como por lo menos dos electrodos y unos medios de alimentación adecuados para ser controlados para generar entre dichos electrodos una sucesión de descargas eléctricas, en el que los medios de alimentación y su control son adecuados para ajustar la energía, la frecuencia de las descargas eléctricas, así como la tensión entre los electrodos y el tiempo de conmutación, para que la sucesión de las descargas eléctricas produzca una onda de choque mecánica que se propaga sobre los materiales y/o productos a tratar en el reactor, caracterizado por que dicho sistema comprende por lo menos dos fases de reactor(es), una para la fragilización de productos y/o materiales por una onda de choque mecánica generada por efecto indirecto de arco eléctrico, así como por lo menos otra para la trituración de los materiales y/o productos por efecto directo de las descargas eléctricas, y por que por lo menos un reactor comprende un módulo de generación de las microondas para el secado de los materiales y/o productos.
12. Sistema según la reivindicación anterior, en el que un reactor de una fase para la trituración de los materiales y/o productos por efecto directo de las descargas eléctricas comprende unas esferas elastoméricas que presentan una rigidez superior a 1 N/cm.
13. Sistema según una de las reivindicaciones 11 o 12, en el que un reactor comprende por lo menos un par de electrodos en forma de punta/punta o en forma de punta/plano.
14. Sistema según una de las reivindicaciones 11 a 13, en el que un reactor presenta una forma poliédrica o

cilíndrica con fondo esférico.

15. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dichos materiales y/o productos se seleccionan de entre la siguiente lista:

- 5
- menas y/o minerales,
 - residuos de equipos eléctricos y electrónicos,
- 10
- polvo de diamantes,
 - arenas y esquistos bituminosos,
- 15
- tierras y lodos contaminados por metales pesados tales como arsénico, plomo, cadmio, cromo, cobre, níquel, cinc, mercurio e hidrocarburos tales como los hidrocarburos aromáticos, los hidrocarburos de tipo C10 a C40 en estado líquido y sólido,
 - materiales compuestos constituidos por capas de vidrio, películas de plástico y resina tal como acrilobutadieno-estireno, y materiales compuestos que comprenden fibras de carbono,
- 20
- paneles fotovoltaicos compuestos por vidrio templado, polímeros, silicio, aluminio y Tedlar (poli(fluoruro de vinilo)).

16. Sistema según la reivindicación 11, en el que dichos materiales y/o productos se seleccionan de entre la siguiente lista:

- 25
- menas y/o minerales,
 - residuos de equipos eléctricos y electrónicos,
- 30
- polvo de diamantes,
 - arenas y esquistos bituminosos,
- 35
- tierras y lodos contaminados por metales pesados tales como arsénico, plomo, cadmio, cromo, cobre, níquel, cinc, mercurio e hidrocarburos tales como los hidrocarburos aromáticos, los hidrocarburos de tipo C10 a C40 en el estado líquido y sólido,
 - materiales compuestos constituidos por capas de vidrio, películas de plástico y resina tal como acrilobutadieno-estireno, y materiales compuestos que comprenden fibras de carbono,
- 40
- paneles fotovoltaicos compuestos por vidrio templado, polímeros, silicio, aluminio y Tedlar (poli(fluoruro de vinilo)).

17. Sistema de aprovechamiento según la reivindicación 11, en el que dichos materiales y/o productos son polvo de diamante, caracterizado por que comprende un sistema de chorros de agua en el interior de los reactores adecuado para impedir o para limitar el contacto de las partículas de diamantes con el cátodo y para reducir el tratamiento de las impurezas.

18. Sistema de aprovechamiento según la reivindicación 11, en el que dichos materiales y/o productos son polvo de diamante, caracterizado por que el cátodo de dichos electrodos presenta unas propiedades ferromagnéticas que permiten un tratamiento de separación de las impurezas mediante un campo magnético.

19. Sistema de aprovechamiento según la reivindicación 11, en el que dichos materiales y/o productos son tierras y lodos contaminados por metales pesados tales como arsénico, plomo, cadmio, cromo, cobre, níquel, cinc, mercurio e hidrocarburos tales como los hidrocarburos aromáticos, los hidrocarburos de tipo C10 a C40 en el estado líquido y sólido, que comprende un conjunto de electrodos adaptados y asociados a un módulo de almacenamiento de energía móvil que permite tratar dichas tierras y lodos contaminados por metales pesados e hidrocarburos *in situ*, lo cual consiste en un tratamiento de la materia contaminada en el sitio y en la extracción y la recuperación de los contaminantes tales como arsénico, plomo, cadmio, cromo, cobre, níquel, cinc, mercurio, hidrocarburos C10-C40 e hidrocarburos aromáticos.

FIG. 1

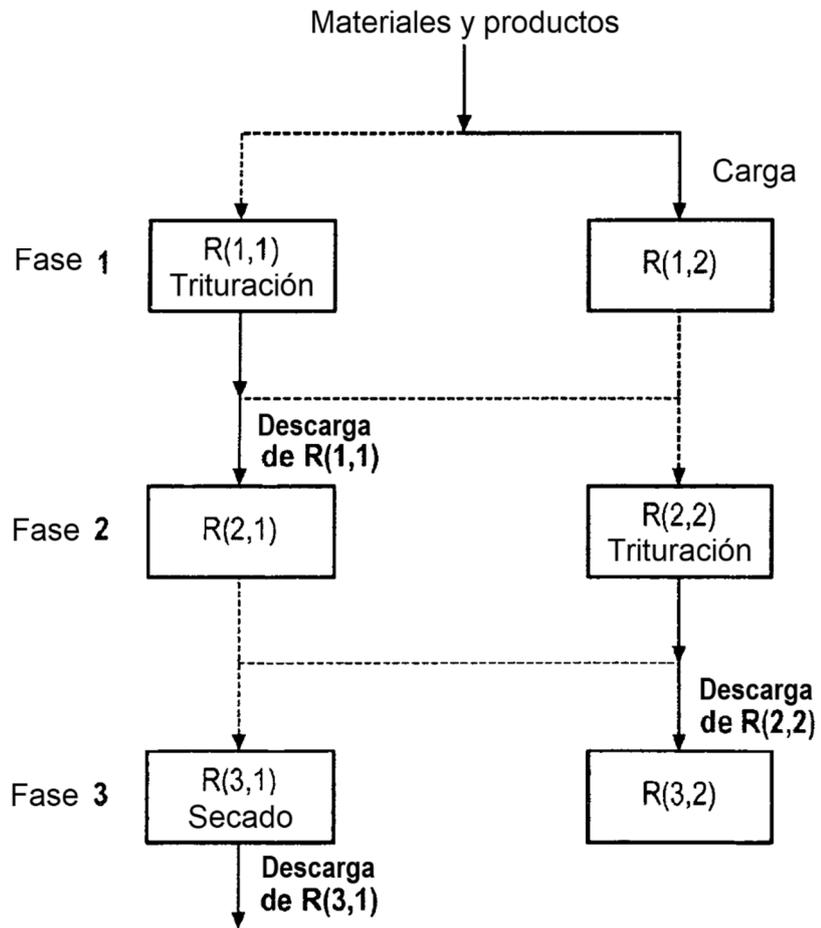


FIG. 2

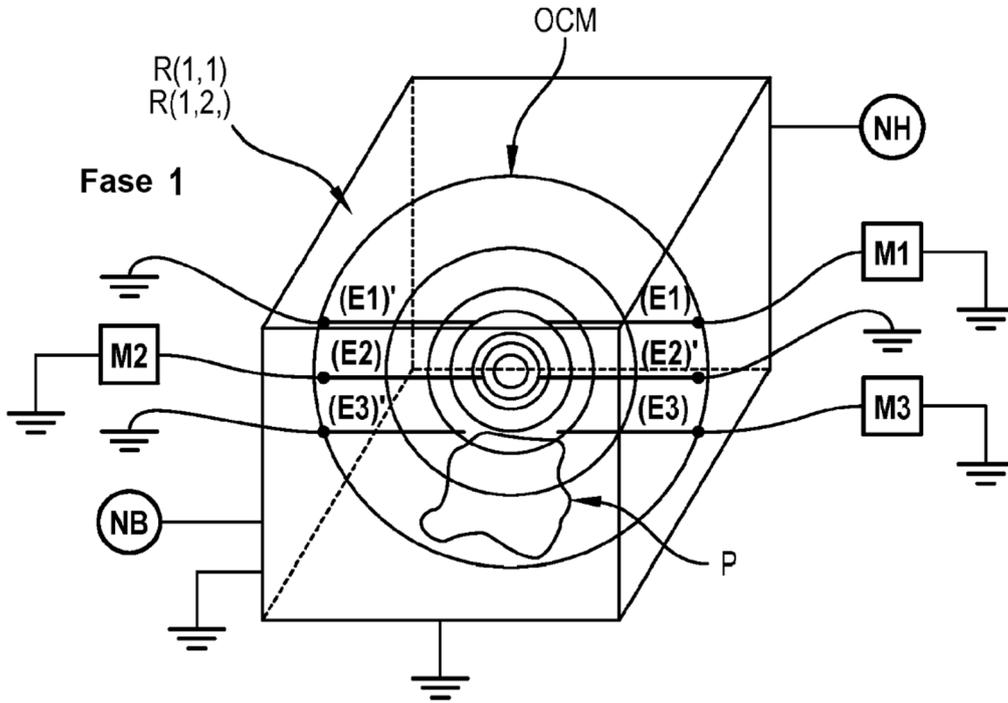


FIG. 3

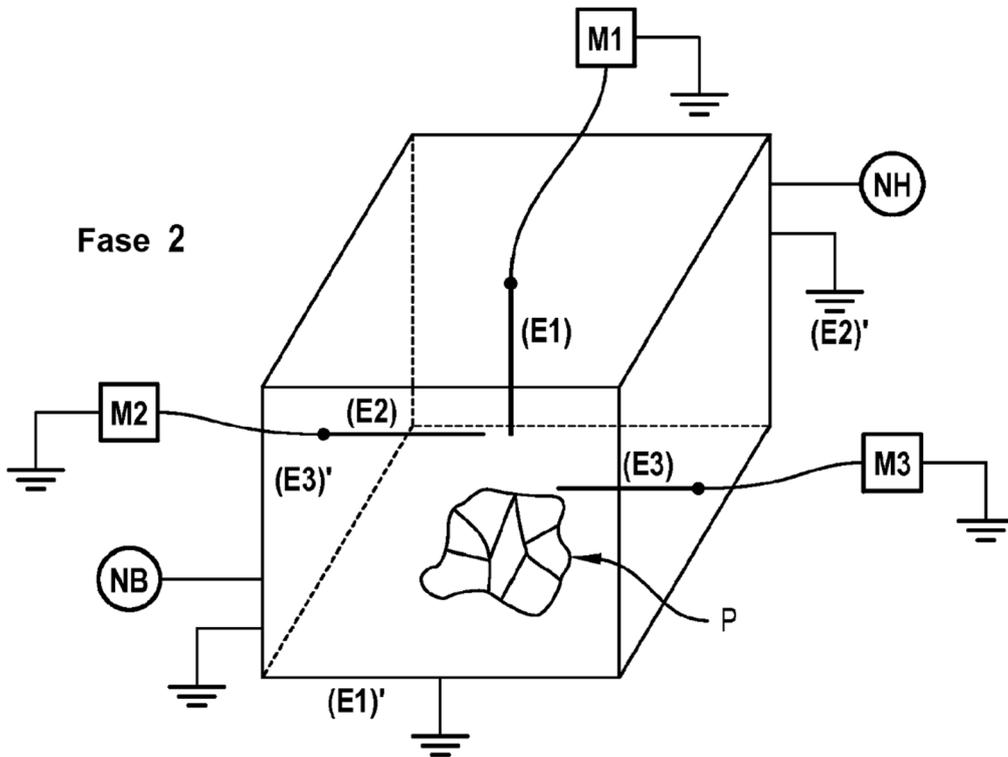


FIG. 4a

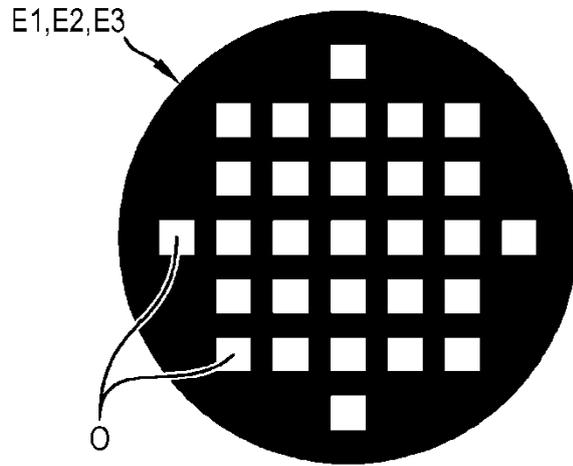


FIG. 4b

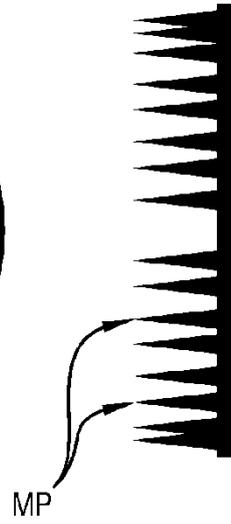


FIG. 5a

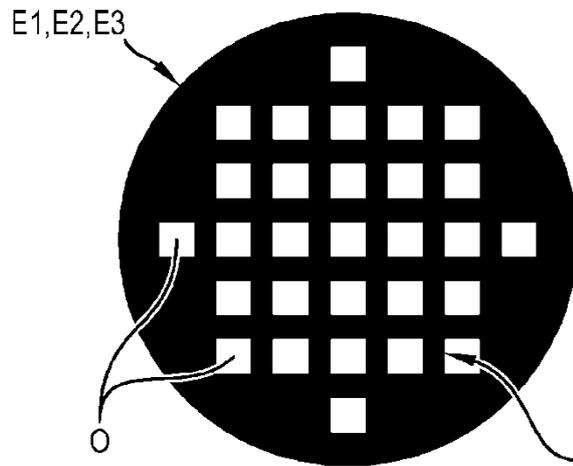


FIG. 5b

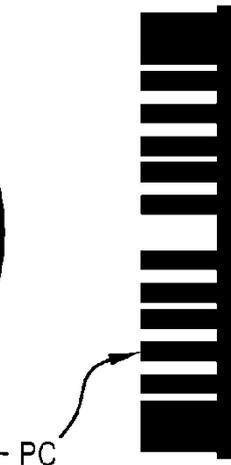


FIG. 6

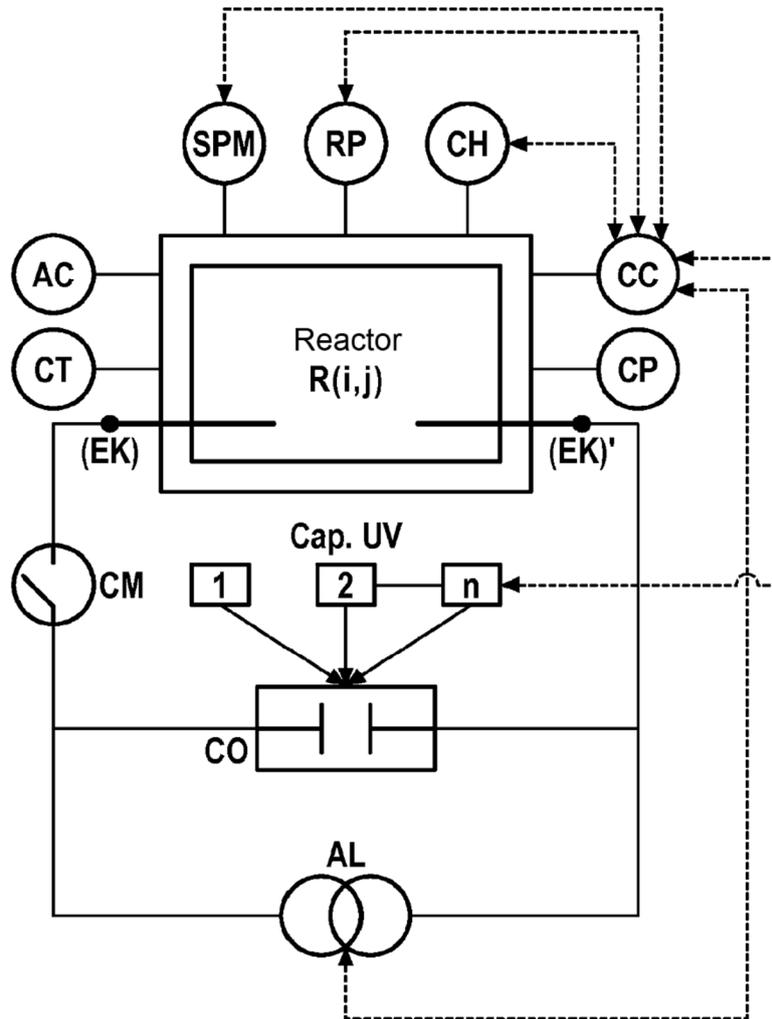


FIG. 7a

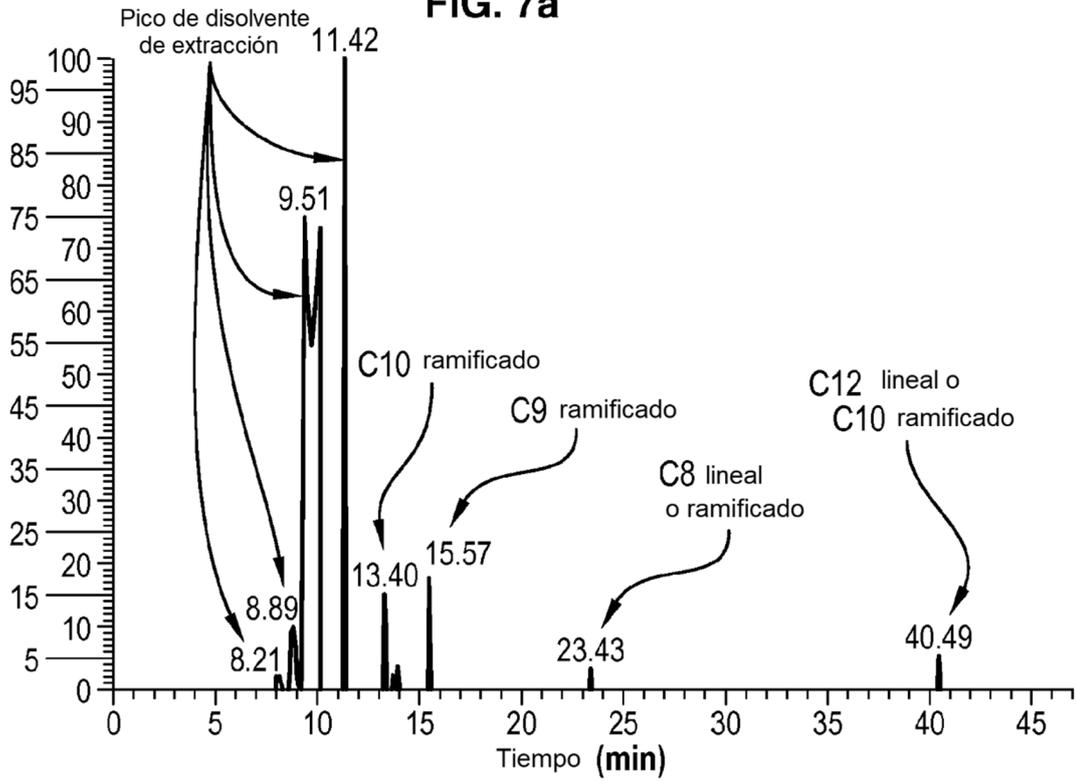


FIG. 7b

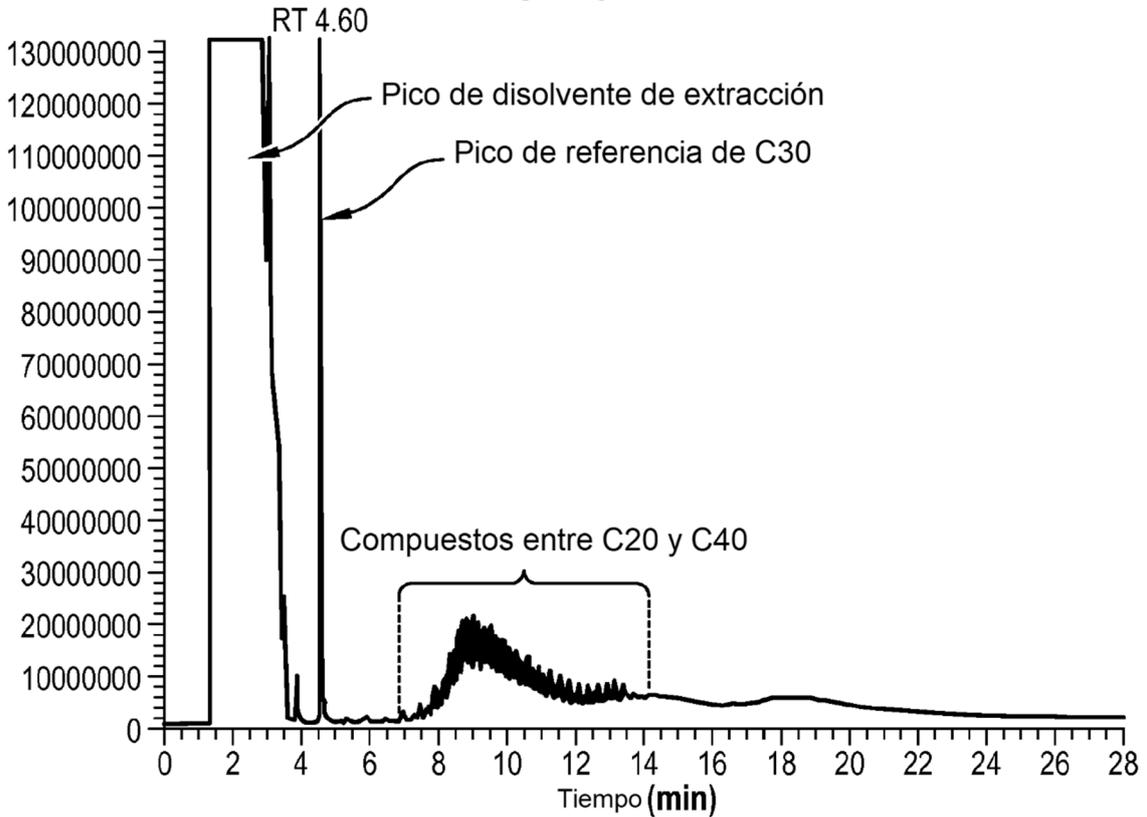


Tabla 1

MnO	C	Fe2O3	S	Zn	Cd
%	%	%	%	%	mg/Kg
0,16	0,08	19,6	36,8	37	704

Co	Cu	Mo	Sn	Sr
mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
68	312	28	100	28

FIG. 8

Porcentaje (%)

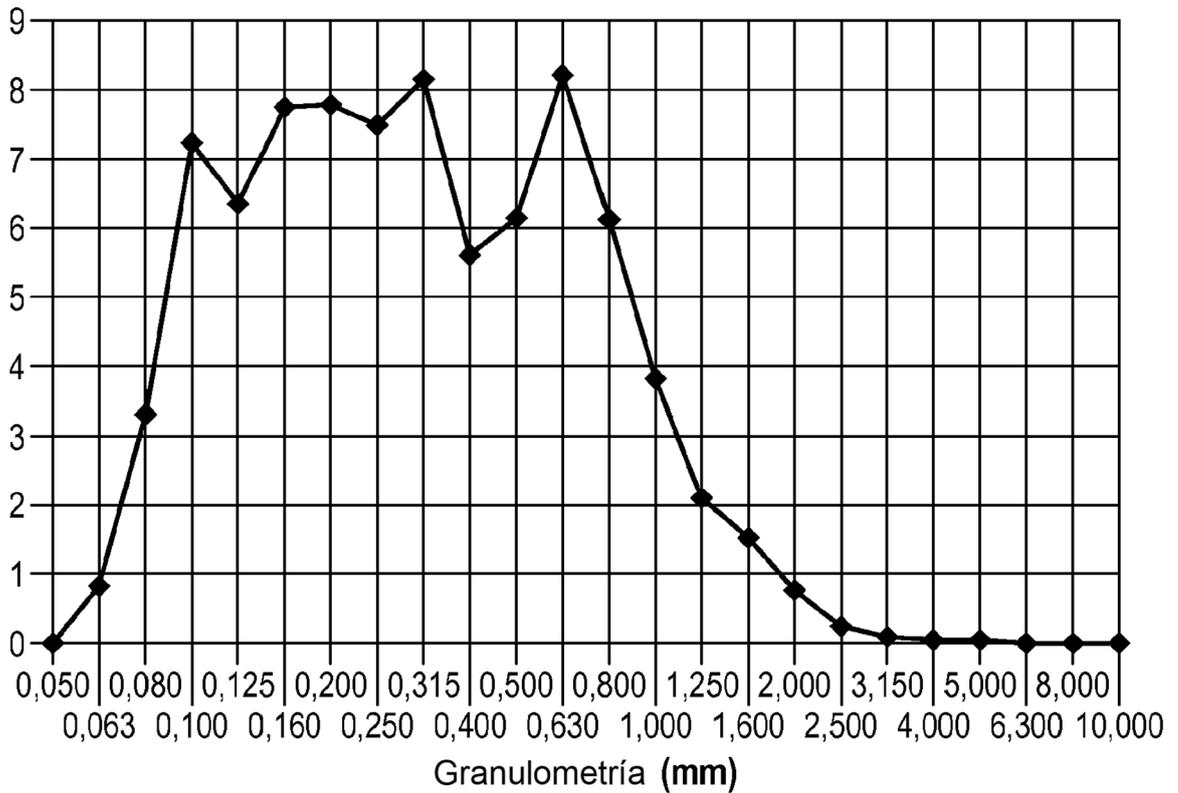


Tabla 2

Energía por descarga = 200J, tiempo muerto = 10ms, duración de la descarga = 50 μs, tiempo de conmutación = 300 ns				
Número de descargas	300		260	
Granulometría y tasa de liberación	200 μ m % de liberación	100 μ m % de liberación	200 μ m % de liberación	100 μ m % de liberación
Calcopirita	5	12	5	53
Esfalerita	67	83	70	88
Pirita	72	78	75	73
Pirrotita	<5	6	8	37
No opaco	87	73	72	86

Tabla 3

Granulometría del diamante	180 - 300	50 - 70	20 - 50
Grado de abrasividad (mediana)	1.39	1.55	1.63
Grado de abrasividad (media)	1.42	1.73	1.79

FIG. 9

