

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 372 553**

51 Int. Cl.:  
**B07C 5/342** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08172445 .2**

96 Fecha de presentación: **19.12.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2198983**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **23.06.2010**

54 Título: **MÉTODO PARA SEPARAR IMPUREZAS MINERALES DE LAS ROCAS QUE CONTIENEN CARBONATO CÁLCICO MEDIANTE CLASIFICACIÓN POR RAYOS X.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**23.01.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**23.01.2012**

73 Titular/es:  
**OMYA DEVELOPMENT AG  
BASLERSTRASSE 42  
4665 OFTRINGEN, CH**

72 Inventor/es:  
**Tavakkoli, Bahman;  
Mangelberger, Thomas y  
Reisinger, Matthias**

74 Agente: **Mir Plaja, Mireia**

**ES 2 372 553 T3**

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

**DESCRIPCIÓN**

Método para separar impurezas minerales de las rocas que contienen carbonato cálcico mediante clasificación por rayos X

5 La presente invención se refiere a un método para separar impurezas minerales asociadas a las mismas de las rocas de carbonato cálcico de origen sedimentario y metamórfico, tales como la piedra caliza, la creta y el mármol.

10 Los carbonatos naturales tienen una enorme importancia en la economía mundial debido a sus numerosas aplicaciones. Según sus diferentes usos, tales como el del carbonato cálcico en las industrias papelera y de la pintura, los productos finales tienen rigurosas especificaciones de calidad que son difíciles de cumplir.

15 Así, se requieren técnicas eficaces, a poder ser automatizadas, para clasificar y separar las impurezas minerales, que habitualmente comprenden cantidades variables de rocas o minerales que contienen dolomita y sílice, como el sílice en forma de sílex o cuarzo, feldespatos, anfibolitas, micaesquistos y pegmatita, en forma de disseminaciones, nódulos o capas dentro de la roca de carbonato cálcico o en forma de rocas secundarias.

20 Muchos campos, como las industrias de la minería y de la gestión de residuos, tienen como objetivo lograr un proceso eficaz para clasificar automáticamente mezclas de materiales.

En este sentido, la clasificación automática de partículas supone la separación de un flujo de partículas a granel en base a propiedades detectadas de las partículas, que se miden mediante sensores electrónicos tales como cámaras, sensores de rayos X y bobinas de detección.

25 Se elige la técnica adecuada en función de las características de las partículas. Así, hay una serie de distintas técnicas de clasificación que, sin embargo, tienen en la mayoría de los casos una aplicabilidad muy limitada que depende de las propiedades específicas de las partículas. Por ejemplo, la clasificación óptica exige un suficiente contraste de colores de las partículas, la separación por densidad sólo es posible con una diferencia suficiente en la densidad específica de las partículas, y la minería selectiva es en general ineficaz debido al tiempo necesario y a los costes. Cuando las partículas que hay que clasificar no tienen unas características fiables que permitan la automatización, hay que aplicar la clasificación manual.

30 Especialmente en el campo de la minería, la disponibilidad de clasificadores automáticos de elevada capacidad de producción para el tratamiento de materiales con tamaños de gravilla o terrones mejora la eficiencia global tanto de la actividad minera como de la molienda.

35 Usando una clasificación automática de rocas para la preconcentración, es posible explotar yacimientos metalíferos heterogéneos de una calidad media inferior, aunque con secciones, bandas o vetas locales de alta calidad. Preclasificando los pedazos de mena antes de la molienda, los costes globales de la molienda pueden reducirse considerablemente.

40 Los clasificadores ópticos utilizados en aplicaciones de procesamiento de minerales se basan en el uso de una o más cámaras que escanean las líneas de color, así como de la iluminación proveniente de fuentes de luz especialmente diseñadas. Mediante la cámara pueden detectarse varias propiedades distintivas que incluyen la forma, el área, la intensidad, el color, la homogeneidad, etc. Las aplicaciones típicas están relacionadas con diversas menas de metales comunes y preciosos, minerales industriales como la piedra caliza y las piedras preciosas.

45 Los clasificadores ópticos se utilizan a menudo en la clasificación de rocas de carbonato cálcico. Sin embargo, como se ha mencionado, en cuanto el contraste de colores no es lo suficientemente alto, la separación deviene difícil. Por ejemplo, el sílex puede ser gris, marrón o negro, pero en algunas canteras también puede ser tan blanco como la propia creta, de tal forma que un clasificador óptico no puede separarlo de la creta. Además, incluso en caso de que haya un suficiente contraste de colores, con frecuencia hay que mojar y limpiar la superficie de las rocas para mejorar el contraste y la estabilidad de los colores. No obstante, en el caso, por ejemplo, de la creta, que es muy blanda y porosa, el lavado o incluso el mojado no es posible.

50 Por lo tanto, hay necesidad de contar con técnicas de clasificación distintas de las habituales, que se basan principalmente en el contraste de colores, para separar dichas impurezas minerales de las rocas que contienen carbonato cálcico.

55 A los clasificadores de rayos X no les afecta el polvo, la humedad o la contaminación de la superficie y la clasificación tiene lugar directamente sobre la base de la diferencia en el número atómico medio de los fragmentos de roca. Incluso aunque no haya visibles diferencias eléctricas o magnéticas, muchos materiales pueden aún concentrarse con clasificación por rayos X.

Sin embargo, hasta la fecha, los clasificadores de rayos X han venido siendo usados especialmente para clasificar chatarra de metal, residuos de la construcción, plásticos, carbones y rocas y minerales metalíferos, pero no para retirar dichas impurezas minerales de la roca de carbonato cálcico, principalmente debido a las escasas diferencias en la densidad atómica media entre dichas impurezas y el carbonato cálcico.

5 Por ejemplo, la patente WO 2005/065848 A1 se refiere a un dispositivo y a un método para separar o clasificar materiales a granel con ayuda de un aparato de soplado que tiene toberas de soplado en una sección de caída situada corriente abajo con respecto a una cinta transportadora y una fuente de rayos X, medios de evaluación controlados por ordenador y al menos unos medios sensores. Los materiales a granel que se mencionan en la  
10 patente WO 2005/065848 A1 son menas que hay que separar y partículas de desechos tales como cerámica de vidrio de vidrio de botellas o, en general, diferentes tipos de vidrio.

15 La patente GB 2.285.506 también describe un método y un aparato para clasificar materias basado en la radiación de rayos X. En este método, se irradian las partículas con radiación electromagnética, normalmente rayos X, a respectivos niveles energéticos primero y segundo. Se obtienen valores primero y segundo que son representativos de la atenuación de la radiación por cada partícula. Se obtiene entonces un tercer valor como la diferencia entre o la relación de los valores primero y segundo, y las partículas se clasifican en función de si el tercer valor es indicativo de la presencia de partículas de una sustancia concreta. En una aplicación del método, éste se utiliza para clasificar kimberlita diamantífera dentro de una fracción formada por partículas de kimberlita que contienen inclusiones de  
20 diamante y una fracción formada por partículas improductivas de kimberlita.

25 Las patentes US 5.339.962 y US 5.738.224 describen un método de separación de materiales que tienen distintas características de absorción y penetración de la radiación electromagnética. Los materiales que se separan mediante este método son materiales de plástico que se separan de materiales de vidrio, metales que se separan de no metales y distintos plásticos que se separan unos de otros. El método que se da a conocer es especialmente eficaz en la separación de elementos con distinta composición química tales como las mezclas que contienen metales, plásticos, textiles, papel y/u otros materiales residuales que se dan en la industria del tratamiento de residuos sólidos municipales y en las industrias del reciclaje de materiales secundarios.

30 Las patentes WO 2006/094061 A1 y WO 2008/017075 A2 se refieren a dispositivos clasificadores que incluyen clasificadores ópticos y clasificadores que tienen un tubo de rayos X, un conjunto de detectores de energía dual, un microprocesador y un conjunto de eyectores de aire. El dispositivo detecta la presencia de muestras en la zona de detección de los rayos X e inicia la identificación y la clasificación de las muestras. Una vez identificada y clasificada la categoría de una muestra, en un momento específico el dispositivo activa un conjunto de eyectores de aire  
35 situados en sitios específicos para colocar la muestra en el adecuado depósito de recogida. Los materiales que hay que clasificar con este dispositivo son metales tales como metales ligeros como el aluminio y sus aleaciones que deben separarse de metales más pesados como el hierro, el cobre, el cinc y sus aleaciones.

40 Las patentes EP 0 064 810 A1 y US-A-3545610 describen un aparato clasificador de menas en el que la mena a clasificar se selecciona en función de su absorción de radiación atómica. Las partículas de mena se pasan por debajo de un tubo de rayos X mientras se mantienen soportadas en una cinta transportadora. Los rayos X que pasan a través de las partículas de mena inciden en una pantalla fluorescente. Las imágenes formadas en la pantalla se escanean mediante una cámara de escaneo para así obtener señales de control de clasificación en función de la cantidad de radiación absorbida por las partículas de mena. Las menas especialmente examinadas son  
45 menas de tungsteno, que en particular han demostrado ser difíciles de separar utilizando técnicas de detección conocidas, aunque son especialmente susceptibles a la clasificación mediante medición de la absorción de rayos X en circunstancias especiales.

50 La patente RU 2.131.780 se refiere al beneficio y a la clasificación de menas de manganeso que incluyen la trituración de la mena, separándola en fracciones por tamaño, la separación magnética de la fracción fina y la separación por rayos X/radiométrica de la fracción gruesa. Una mena con un contenido de manganeso inferior al 2 % va al vertedero y una mena con más de un 2 % de manganeso se somete a separación por rayos X/luminiscente, lo que proporciona un proceso tecnológico simplificado para conseguir concentrados de manganeso a partir de mena.  
55

Así, existen varias posibilidades para separar un material de otro. Sin embargo, hasta ahora no se ha encontrado ninguna técnica eficaz para clasificar y separar las impurezas minerales del carbonato cálcico en rocas que contengan carbonato cálcico. Esto es debido al hecho de que las técnicas actuales requieren unas características suficientemente diferentes, por ejemplo, de densidad o color de los materiales para poder realizar la clasificación, lo que resulta problemático con respecto a muchas impurezas que contienen las rocas con carbonato cálcico.  
60

En consecuencia, sigue siendo necesario encontrar técnicas alternativas para clasificar y separar dichas impurezas minerales no deseadas, que también incluyen rocas o minerales duros, abrasivos y/o colorantes, incluso aunque no exista un contraste de colores claro entre el carbonato cálcico y dichas impurezas, de los componentes restantes de la roca.  
65

Por lo tanto, el objeto de la presente invención es aportar un método alternativo para separar y retirar eficazmente impurezas minerales no deseadas que están mezcladas con el carbonato cálcico en rocas que contienen carbonato cálcico y son de origen sedimentario y metamórfico, como la piedra caliza, la creta y el mármol, especialmente si el contraste de colores en las rocas es bajo o si el tipo de superficie de las partículas no permite el acondicionamiento necesario para crear o reforzar el contraste de colores (a saber, el lavado o el mojado).

El objeto de la invención se consigue mediante un método que se ajusta a lo definido en las reivindicaciones independientes. Realizaciones favorables de la presente invención se desprenden de las reivindicaciones dependientes y de la siguiente descripción.

Resultó sorprendente descubrir que los dispositivos que utilizan la tecnología de transmisión de rayos X de energía dual se pueden aprovechar para separar y retirar impurezas minerales no deseadas del carbonato cálcico en las rocas que contienen carbonato cálcico.

Este descubrimiento es sorprendente porque, normalmente, la tecnología de rayos X exige cierta diferencia en la densidad de los materiales a separar, lo que no sucede cuando hablamos de materiales tales como, por ejemplo, el carbonato cálcico y la dolomita o el sílex, que no cabría esperar que se pudiesen separar mediante una clasificación por rayos X.

Esta es la razón por la que la clasificación por rayos X se ha utilizado hasta ahora principalmente para separar materiales con una densidad suficientemente diferente como los metales ligeros y pesados, por ejemplo, el aluminio y el magnesio de una fracción rica en metales pesados como el cobre, el bronce, el cinc y el plomo, o materiales de plástico de materiales de vidrio, metales de no metales o diferentes plásticos entre sí.

Los rayos X emitidos por la fuente de rayos X penetran el material a granel y son absorbidos en función de la masa atómica media y del tamaño de las partículas del material escaneado. Los detectores de rayos X instalados frente a la fuente de rayos X detectan los rayos X transmitidos y los convierten en una señal eléctrica en función de la intensidad de los rayos X. Para eliminar la influencia del tamaño de las partículas del material escaneado, la tecnología de energía dual utiliza una única fuente de rayos X y dos detectores de rayos X para escanear las rocas. Un detector de rayos X mide la intensidad de los rayos X sin filtrar; y el segundo detector está cubierto con un filtro metálico y, así, mide una intensidad de rayos X reducida. Calculando el cociente de las intensidades, filtradas y no filtradas, de los rayos X, se puede eliminar la influencia del tamaño de las partículas. La señal de rayos X calculada se puede correlacionar con la masa atómica media del material escaneado y, por tanto, se pueden detectar y clasificar diferentes materias primas en función de su masa atómica media.

Al atravesar la roca la radiación de rayos X, también se pueden detectar y clasificar de forma eficaz las partículas asociadas a la misma.

Por consiguiente, el objeto de la presente invención se logra mediante un método para separar impurezas minerales asociadas a las mismas de rocas que contienen carbonato cálcico mediante los pasos de:

- triturar y clasificar las rocas de carbonato cálcico a un tamaño de partículas situado en la gama de tamaños de partículas que va desde 1 hasta 250 mm,
- separar las partículas de carbonato cálcico eliminando las partículas que comprendan componentes distintos del carbonato cálcico mediante medios que están situados corriente abajo con respecto a una zona de detección y son susceptibles de ser controlados por medios de evaluación controlados por ordenador en función de señales de sensores que resultan de la radiación que atraviesa un flujo de dichas partículas, siendo dicha radiación emitida por una fuente de rayos X y capturada en al menos unos medios sensores, en donde se permite que los rayos X pasen al menos dos dispositivos de filtración en relación con espectros de energía mutuamente distintos, situados corriente arriba con respecto a los medios sensores que son al menos unos y líneas de sensores con medios sensores, estando prevista una línea de sensores para cada uno de los filtros que son al menos dos.

El paso de la separación se realiza de forma ventajosa en un dispositivo conforme con la patente WO 2005/065848, cuya exposición queda explícitamente incluida en la presente.

El dispositivo y el método que ahí se describen fueron especialmente desarrollados para aportar un sistema seguro con el cual no sólo es fiablemente posible detectar pequeñas piezas de metal tales como tornillos y tuercas, sino que permite su separación fiable del resto del flujo de material a granel a través de toberas de soplado que están directamente a continuación del punto de observación. No hay sin embargo indicación alguna de que el dispositivo y el método también puedan ser utilizados con un mineral que contenga material tal como rocas que contengan carbonato cálcico.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el dispositivo se caracteriza por el uso de dos filtros de rayos X para diferentes niveles de energía que, en cada caso, se ponen frente a los sensores de forma que se pueda obtener diferente información sobre las partículas. Otra posibilidad es que los filtros sigan directamente a la fuente de rayos X o que se utilicen las fuentes de rayos X con diferentes energías emitidas.

Preferiblemente, los medios para separar las partículas de carbonato cálcico son toberas de soplado que separan las partículas que no son de carbonato cálcico.

5 Si las partículas están aglomeradas, puede resultar útil utilizar una sección de desnivel, en ella los medios de separación están situados corriente abajo en esta sección de desnivel de la zona de detección.

10 Mediante un filtrado adecuado de los rayos X corriente arriba con respecto al sensor concreto del sistema de dos canales, se produce en primer lugar una selectividad espectral. La disposición de las líneas de sensores permite entonces un filtrado independiente, de tal forma que se puede lograr la selectividad óptima para una función separadora dada.

15 Cada una de las líneas de sensores incluye múltiples medios detectores. Medios detectores adecuados para su uso en esta invención son, por ejemplo, conjuntos de fotodiodos equipados con un escintilador para la conversión de los rayos X en luz visible.

20 Un conjunto típico tiene 64 píxeles (en una fila) con una trama de píxeles de 0,4 o 0,8 mm. El primer corte de la línea del producto que hay que clasificar, como resultado de la dirección del flujo de material, se retrasa hasta que los datos están disponibles casi simultáneamente con los de la siguiente línea de corte (con el otro espectro energético). Los datos con esta correlación temporal se convierten y transmiten a los dispositivos electrónicos de evaluación.

Puesto que la clasificación según la presente invención es un método de partículas únicas, cada una de las partículas tiene que presentarse por separado y con suficiente distancia con las otras partículas. Para conseguir esta individualización de las partículas se pueden usar dos tipos básicos de clasificadores:

25 a) el clasificador de «tipo cinta», en el que la alimentación se presenta en una cinta con una velocidad típica de 2-5 m/s (según la patente WO 2005/065848), o

30 b) el clasificador de «tipo rampa (o gravedad)», en el que las partículas se individualizan y aceleran mientras caen por una rampa. La detección tiene lugar en la rampa o en la cinta.

Aunque la versión tipo rampa es la preferida normalmente, ambos tipos se pueden aplicar para lograr la separación de las impurezas de las rocas que contienen carbonato cálcico utilizando una clasificación por rayos X según la presente invención.

35 Preferiblemente, los medios detectores alineados forman una línea de sensores que se corresponde con el ancho del flujo de partículas, como conjuntos de fotodiodos, cuya superficie activa se puede cubrir con un papel fluorescente u otro tipo de tamices adecuados.

40 Los filtros son preferiblemente folios de metal a través de los cuales se transmiten los rayos X de los diferentes niveles energéticos. Sin embargo, los filtros también pueden estar formados por cristales, que reflejan los rayos X en niveles energéticos que difieren entre sí, especialmente rayos X en diferentes intervalos de energía en diferentes ángulos sólidos.

45 Generalmente, se cubren un espectro energético superior y un espectro energético inferior. En el espectro energético superior se utiliza un filtro de paso alto que atenúa mucho las frecuencias más bajas con menor contenido energético. Las altas frecuencias se transmiten con una atenuación limitada. Con este propósito, es posible utilizar un folio metálico de un metal con un tipo de densidad más elevada, tal como un folio de cobre de 0,45 mm de grosor. En el espectro energético inferior se utiliza un filtro corriente arriba con respecto al sensor concreto como un filtro de absorción que elimina un rango concreto de longitud de onda de la energía superior. Está diseñado de tal forma que la absorción se produce muy cerca de los elementos de mayor densidad. Con este propósito, es posible utilizar un folio metálico de un metal con un tipo de densidad más baja, tal como un folio de aluminio de 0,45 mm de grosor.

55 La disposición espacial de los filtros se puede fijar para que, al mover las partículas, sea posible crear un reflejo de los rayos X adecuado que siga a los filtros, por ejemplo, mediante cristales en una línea o fila del detector, en el caso de una asociación de dos resultados medidos registrados en momentos distintos para las partículas que avanzan en el flujo de material a granel.

60 Preferiblemente, los filtros que son al menos dos están situados bajo el flujo de partículas y corriente arriba con respecto a los sensores, y un tubo de rayos X, que produce un espectro de radiación de frenado, está posicionado sobre el flujo de partículas.

65 A través de la colocación corriente arriba de los filtros, es posible restringir la radiación de rayos X a un nivel de energía específico con respecto a una fuente de rayos X que emite en un espectro más amplio antes de que la misma incida en las partículas. Entonces no es necesario ningún filtro más entre las partículas del material a granel y un sensor situado corriente abajo.

5 En otra variante del dispositivo, también es posible trabajar con dos sensores, que están uno detrás del otro y en posición transversal con respecto al flujo de partículas y, por ejemplo, situados debajo de éste. Mediante bucles matemáticos de retardo adecuados, entonces es posible asociar la información obtenida sucesivamente con las partículas individuales del material a granel y, tras la evaluación matemática, utilizar esa información para controlar las toberas de soplado.

10 Se prefiere que los filtros que son al menos dos incluyan múltiples filtros para su uso con múltiples niveles de energía.

15 La filtración de los rayos X, que ha atravesado las partículas del material a granel, tiene lugar preferiblemente en al menos dos espectros diferentes filtrados mediante el uso de folios de metal para lograr la captura resuelta mediante la localización de los rayos X, que han atravesado las partículas del material a granel en al menos un sensor en línea en un intervalo de energía predeterminado.

20 Esto puede ocurrir cuando se usa un medio sensor (una línea larga formada por numerosos detectores individuales) al pasar por diversos filtros y al capturar de forma sucesiva la radiación transmitida o, preferiblemente, mediante dos líneas de sensores con, en cada caso, un filtro distinto, permitiendo los filtros el paso de diferentes espectros, que, por un lado, suelen tener un carácter suave (energía baja) y, por otro, un carácter duro (energía alta).

25 Preferiblemente, tiene lugar una clasificación Z y una estandarización de las zonas de imagen para determinar el tipo de densidad atómica en base a las señales en los sensores de los fotones de los rayos X de los distintos espectros de energía capturados en, al menos, dos líneas de sensores.

30 La transformación Z produce, a partir de las intensidades de dos canales de formación de imágenes espectrales diferentes, n clases de densidad atómica media (abreviada Z), cuya asociación es enormemente independiente de la transmisión de los rayos X y, por tanto, del grosor del material.

35 La estandarización de los valores a una densidad atómica media de uno o más materiales representativos seleccionados hace posible clasificar de forma distinta zonas de imagen a ambos lados de la curva estándar. Una calibración, en la que se produce el contexto de forma no lineal sobre el espectro capturado, permite la «atenuación» de los efectos del equipo.

40 El tipo de densidad atómica generada durante la estandarización a una Z específica (número atómico de un elemento o, con más frecuencia, la densidad atómica media del material) forma la densidad típica de los materiales implicados. Paralelamente, se calcula otro canal que ofrece la transmisión media resultante sobre todo el espectro.

45 Mediante una combinación asistida por ordenador del tipo de densidad atómica con un intervalo de transmisión ( $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$ ) a los píxeles, se puede asignar un tipo característico que, a su vez, se puede utilizar para diferenciar el material.

50 Otro elemento positivo es que se realiza una segmentación de la formación característica de clases para controlar las toberas de soplado partiendo tanto de la transmisión media detectada de las partículas de material a granel en los diferentes espectros energéticos de los rayos X capturados por los sensores que son al menos dos, como de la información sobre densidades obtenida mediante la estandarización Z.

55 Según la presente invención, las rocas que contienen carbonato cálcico se eligen entre el grupo formado por las rocas de origen sedimentario y metamórfico, como la piedra caliza, la creta y el mármol.

60 Normalmente, las rocas de carbonato cálcico incluyen cantidades diversas de impurezas, por ejemplo, otros componentes minerales como rocas o minerales que contienen dolomita y sílice, como sílice en forma de sílex o cuarzo, feldespatos, anfíbolitas, micaesquistos y pegmatita, en forma de diseminaciones, nódulos o capas dentro de la roca de carbonato cálcico o como rocas secundarias, que pueden ser separadas del carbonato cálcico de forma eficaz y selectiva de conformidad con la invención.

65 Por ejemplo, el sílex se puede separar de la creta, la dolomita de la calcita o la pegmatita de la calcita.

70 Sin embargo, la presente invención también se refiere a rocas que contienen carbonato mezclado como las rocas de dolomita, de las que se separan los minerales que contienen sílice.

75 Antes de que se produzca la clasificación y la separación, se trituran las rocas en un dispositivo cualquiera adecuado para esta función, por ejemplo, en una trituradora de mandíbulas, de conos o de rodillos y, de forma opcional, se clasifican, por ejemplo, en tamices, para obtener un tamaño de partículas de entre 1 y 250 mm.

Preferiblemente, las rocas que contienen carbonato cálcico se trituran hasta obtener un tamaño de partículas en el intervalo de 5 a 120 mm, preferiblemente de entre 10 y 100 mm, mejor aún de entre 20 y 80 mm, especialmente de entre 35 y 70, por ejemplo, de entre 40 y 60 mm.

5 Puede además resultar conveniente ofrecer una o varias fracciones diferentes de tamaños de partículas, que se incorporan por separado al dispositivo de clasificación por rayos X descrito anteriormente y se clasifican en función de sus propiedades de transmisión de los rayos X.

10 Las proporciones típicas del tamaño mínimo/máximo de las partículas en una fracción son, por ejemplo, 1:4, preferiblemente 1:3, mejor aún 1:2, o incluso inferior, por ejemplo, los tamaños de las partículas de una fracción pueden ser de entre 10 y 30 mm, 30 y 70 mm o 60 y 120 mm.

15 Cuanto menor es la proporción, mejor es el ajuste del tiempo de retardo entre la detección y la eyección, el impulso de aire comprimido que desvía con éxito las impurezas detectadas de su trayectoria inicial, así como las categorías definidas de la densidad atómica media al intervalo de tamaño de las partículas clasificadas.

20 Así, mediante el método conforme a la invención se pueden separar y retirar las impurezas minerales no deseadas del carbonato cálcico en las rocas que contienen carbonato cálcico. Por ejemplo, se puede retirar entre un 20 y un 100 % del peso de las rocas no deseadas que contenga, más típicamente, entre un 30 y un 95 % del peso o entre un 40 y un 90 % del peso, por ejemplo, entre el 50 y el 75 o entre el 60 y el 70 % del peso.

25 Una vez hecha la clasificación como se ha mencionado anteriormente, el carbonato cálcico purificado, por ejemplo, creta, piedra caliza o mármol, se somete preferiblemente a un proceso de trituración seca o húmeda. Con este propósito se pueden añadir las partículas a una fase de trituración o de molienda seca o húmeda, por ejemplo, con una trituradora de conos, una machacadora de impactos, un molino de martillo, un triturador de muelas horizontales, tambores giratorios como los molinos autógenos, los molinos de bolas o los molinos de barras.

30 Tras la trituración, se puede utilizar un paso más de clasificación (por ejemplo, en un tamiz, en un clasificador por aire, en un hidrociclón o en una centrifugadora) para fabricar el producto final.

Las partículas separadas de las partículas puras de carbonato cálcico normalmente se devuelven a la mina o se venden como subproducto.

35 Las figuras descritas a continuación y los ejemplos y experimentos sirven para ilustrar la presente invención y no deberán restringirla de ningún modo.

#### Descripción de las figuras:

40 Las figuras 1a y 1b muestran el resultado de las pruebas de clasificación por rayos X con una fracción de entre 10 y 35 mm de materia prima de creta (fig. 1a: producto clasificado; fig. 1b: desecho) de conformidad con el experimento 1.

45 Las figuras 2a y 2b muestran el resultado de las pruebas de clasificación por rayos X con una fracción de entre 10 y 35 mm de materia prima de creta (fig. 2a: producto clasificado; fig. 2b: desecho) de conformidad con el experimento 1.

Las figuras 3a y 3b muestran los desechos de las pruebas de clasificación por rayos X con creta de nivel 2 (fig. 3a) y de nivel 3 (fig. 3b) (fracción de entre 35 y 63 mm) de conformidad con el experimento 2.

50 Las figuras 4a y 4b muestran los desechos de las pruebas de clasificación por rayos X con creta de nivel 4 (fig. 4a) y de nivel 5 (fig. 4b) (fracción de entre 35 y 63 mm) de conformidad con el experimento 2.

55 La figura 5a muestra los componentes minerales presentes en la alimentación: pegmatita, anfíbolita, dolomita y calcita (de izquierda a derecha); la figura 5b muestra lo aceptado tras la clasificación por rayos X; y la figura 5c muestra los desechos tras la clasificación por rayos X de conformidad con el experimento 3.

#### EJEMPLOS:

60 Ejemplo 1: Separación del sílex de la creta

La materia prima de creta, que contiene en torno a un 0,5 - 3 % del peso de arcilla y un elevado contenido de sílex de entre el 3 y el 9 % del peso, fue triturada previamente en una trituradora de mandíbulas y se tamizó a entre 10 y 60 mm.

65 Las partículas resultantes se separaron en una fracción de entre 10 y 35 mm y en otra de entre 35 y 60 mm en una proporción de masa de aproximadamente 2:1 y se pasaron a un clasificador por rayos X Mogensen MikroSort®

AQ1101. Ambas fracciones se clasificaron individualmente al pasarlas por una mitad del ancho de la máquina con una fracción de tamaño de cada vez, utilizando las medias anchuras del clasificador. El material alimentado fue transferido a la zona de escaneo en una capa única y homogénea creada mediante un alimentador vibratorio electromagnético y una rampa inclinada. Las rocas que caían de la rampa inclinada se escaneaban y expulsaban en caída libre. Las partículas se aceleran y, por tanto, se separan antes de que entren en caída libre. Justo debajo de la rampa se irradian las partículas mediante una fuente puntiaguda de rayos X con un ángulo de abertura de aproximadamente 60°. Frente a la fuente de rayos X está el sensor de rayos X de doble canal que mide dos caudales diferentes de rayos X. La evaluación de los datos de las imágenes y la clasificación de las piezas individuales de material se realizan a través de un ordenador industrial de alto rendimiento en unos pocos milisegundos. El verdadero rechazo del material se produce aproximadamente 150 mm por debajo del lugar de detección mediante una unidad de válvulas de solenoide que emite impulsos de aire comprimido para guiar las partículas no deseadas hacia una placa de separación en una tolva de material. Por último, las corrientes de material rechazado y aceptado se pueden transportar por separado. El montaje eyector constaba de 218 toberas de soplado (3 mm de diámetro), que se manejaron con una presión de 7 bares.

Las pruebas de clasificación se han realizado a una capacidad de tratamiento nominal de 11,5 t/h en el caso de la fracción de entre 10 y 35 mm y de 25 t/h en el caso de la fracción de tamaño de entre 35 y 60 mm.

Para determinar la eficacia de la clasificación, el porcentaje de producto en los desechos (rocas blancas) y la cantidad de rocas de color en el producto clasificado se determinaron a mano para cada prueba de clasificación, separando el canal del producto del canal de desechos. A partir de estas cifras se calcularon la recuperación de piedras de color, la selectividad de la clasificación y la pérdida de rocas blancas (tabla 1).

**Tabla 1:**

Nº de prueba	Material de alimentación		Producto (creta)		Desecho (sílex)		Datos de rendimiento		
	Tamaño de las partículas [mm]	Sílex en la alimentación [% del peso]	Producto de aprovechamiento en serie [% del peso]	Sílex en el producto [% del peso]	Desecho de aprovechamiento en serie [% del peso]	Creta en el desecho [% del peso]	Sílex en el desecho [% del peso]	Aprovechamiento del sílex [% del peso] APROVECHAMIENTO	Pérdida de creta [% del peso] PÉRDIDA DE CALCITA
1	10 – 35	3,30	93,35	0,20	6,65	53,57	46,4	94,4	3,7
2	35 - 60	8,46	91,12	0,40	8,88	8,91	91,1	95,7	0,9

Las pruebas de clasificación muestran claramente que la clasificación mediante transmisión por rayos X de energía dual es una tecnología eficaz para la detección y separación del sílex de la materia prima de creta.

Para ambas fracciones de tamaño de partículas, el aprovechamiento del sílex estuvo en el rango del 95 % del peso. En la fracción de tamaño de entre 10 y 35 mm la cantidad de sílex se redujo del 3,3 % del peso en la alimentación del clasificador al 0,2 % del peso en el producto clasificado. En la fracción de tamaño de entre 35 y 60 mm la cantidad de sílex se redujo del 8,5 % del peso al 0,4 % del peso en el producto clasificado. En ambas fracciones de tamaño la pérdida de creta en el desecho está en el intervalo de entre el 1 y 4 % del peso.

Las figuras 1a, 1b, 2a y 2b muestran, respectivamente, los resultados de las pruebas de clasificación por rayos X con la fracción de entre 10 y 35 mm (fig. 1a/b) y con la fracción de entre 35 y 60 mm (fig. 2a/b) de materia prima de creta (1a/2a: producto clasificado; fig. 1b/2b: desecho).

La separación del sílex en la materia prima de creta antes de los procesos de enfriamiento y de trituración es el método más eficaz y económico para reducir los problemas con el elevado desgaste de las máquinas. El proceso de clasificación por rayos X se puede aplicar directamente con la creta previamente triturada y no necesita una instalación de lavado de la materia prima. Los desechos del clasificador se pueden rellenar de nuevo en la cantera sin problemas.

**Ejemplo 2: Separación del sílex de la creta**

Las muestras de creta de cuatro niveles de producción diferentes, que contienen aproximadamente entre un 0,5 y un 3 % del peso de arcilla y tienen diferentes contenidos de sílex, entre un 0,4 y un 4 % del peso (véase la tabla 3), se trituraron previamente en una trituradora de mandíbulas hasta lograr un tamaño nominal de las partículas de entre 10 y 75 mm y posteriormente se tamizaron en 4 fracciones (tabla 2):

Tabla 2:

Fracción por tamaño [mm]	Proporción [% del peso]
> 63	31
35 – 63	40
12 – 35	21
< 12	8

- 5 Las fracciones de entre 12 y 35 mm y de entre 35 y 63 mm se pasaron a un clasificador por rayos X Mogensen MikroSort® AQ1101. Ambas fracciones se clasificaron individualmente al pasarlas por una mitad del ancho de la máquina con una fracción de tamaño de cada vez, utilizando las medias anchuras del clasificador. El material alimentado fue transferido a la zona de escaneo en una capa única y homogénea creada mediante un alimentador vibratorio electromagnético y una rampa inclinada. Las rocas que caían de la rampa inclinada se escaneaban y expulsaban en caída libre. Las partículas se aceleran y, por tanto, se separan antes de que entren en caída libre.
- 10 Justo debajo de la rampa se irradian las partículas mediante una fuente puntiaguda de rayos X con un ángulo de abertura de aproximadamente 60°. Frente a la fuente de rayos X está el sensor de rayos X de doble canal que mide dos caudales diferentes de rayos X. La evaluación de los datos de las imágenes y la clasificación de las piezas individuales de material se realizan a través de un ordenador industrial de alto rendimiento en unos pocos milisegundos. El verdadero rechazo del material se produce aproximadamente 150 mm por debajo del lugar de detección mediante una unidad de válvulas de solenoide que emite impulsos de aire comprimido para guiar las partículas no deseadas hacia una placa de separación en una tolva de material. Por último, las corrientes de material rechazado y aceptado se pueden transportar por separado. El montaje eyector constaba de 218 toberas de soplado (3 mm de diámetro), que se manejaron con una presión de 7bares.
- 15
- 20 Las pruebas de clasificación se han realizado a una capacidad de tratamiento nominal de 11,5 t/h en el caso de la fracción de entre 12 y 35 mm y de 20 t/h en el caso de la fracción de tamaño de entre 35 y 63 mm.
- 25 Para determinar la eficacia de la clasificación, el porcentaje de producto en los desechos (creta) y la cantidad de sílex en el producto clasificado se determinaron a mano para cada prueba de clasificación, separando el canal del producto del canal de desechos. A partir de estas cifras se calcularon la recuperación de sílex, la selectividad de la clasificación y la pérdida de creta (tabla 3).

Tabla 3:

Nº de prueba	Material de alimentación		Producto (creta)		Desecho (sílex)		Datos de rendimiento		
	Tamaño de las partículas [mm]	Sílex en la alimentación [% del peso]	Producto de aprovechamiento en serie [% del peso]	Sílex en el producto [% del peso]	Desecho de aprovechamiento en serie [% del peso]	Creta en el desecho [% del peso]	Sílex en el desecho [% del peso]	Aprovechamiento del sílex [% del peso]	Pérdida de creta [% del peso]
1	Nivel 2 de creta 12 – 35	3,91	94,64	0,85	5,36	42,06	57,9	79,4	2,3
2	Nivel 3 de creta 12 – 35	2,76	95,81	0,58	4,19	47,35	52,6	79,9	2,0
3	Nivel 4 de creta 12 – 35	1,21	97,25	0,20	2,75	63,17	36,8	84,0	1,8
4	Nivel 5 de creta 12 – 35	1,27	96,45	0,00	3,55	64,10	35,9	100,0	2,3
5	Nivel 2 de creta 35 – 63	2,98	96,15	0,54	3,85	35,94	64,1	82,7	1,4
6	Nivel 3 de creta 35 – 63	0,45	96,94	0,09	3,06	88,15	11,9	80,9	2,7
7	Nivel 4 de creta 35 – 63	1,35	96,00	0,12	4,00	69,22	30,8	91,4	2,8
8	Nivel 5 de creta 35 – 63	1,81	95,72	0,03	4,28	58,41	41,6	98,2	2,5

Las pruebas de clasificación mostraron claramente que la clasificación mediante transmisión por rayos X de energía dual es una tecnología eficaz para la detección y separación del sílex de la materia prima de creta.

5 Para ambas fracciones de tamaño de partículas y para todas las muestras analizadas, se consiguió un aprovechamiento del sílex en el rango del 80-90 % del peso.

10 El contenido de sílex detectado en el material de alimentación a partir de diversos niveles de producción osciló entre un 0,5 y un 3,9 % del peso. Mediante la clasificación por rayos X el contenido de sílex se podría reducir hasta entre el 0,1 y el 0,8 % del peso en el producto clasificado de ambas fracciones de tamaño.

15 La corriente de desecho en ambas fracciones de tamaño contuvo aproximadamente un 50 % del peso de creta y un 50 % del peso de sílex, lo que supone una pérdida de creta en el desecho en el intervalo de entre el 1,5 y el 4 % del peso.

20 Esto también se comprueba claramente en las figuras 3a, 3b, 4a y 4b, que muestran, respectivamente, los desechos de las pruebas de clasificación por rayos X con creta de nivel 2 (fig. 3a) (fracción de entre 35 y 63 mm) y de nivel 3 (fig. 3b) (fracción de entre 35 y 63 mm), así como de nivel 4 (fig. 4a) (fracción de entre 35 y 63 mm) y de nivel 5 (fig. 4b) (fracción de entre 35 y 63 mm).

Es más, a partir de la clasificación y la evaluación a mano de los desechos de las pruebas de clasificación resultó evidente que el clasificador por rayos X detectó y rechazó incluso trozos de arcilla (véase la fig. 3b).

### 25 Ejemplo 3: Separación de la dolomita y la pegmatita de la calcita

30 Una muestra de materia prima de carbonato cálcico que contenía entre un 60 y un 80 % de calcita, entre un 10 y un 20 % de dolomita, entre un 5 y un 10 % de pegmatita y entre un 5 y un 10 % de anfíbolita (véase la fig. 5a que muestra los componentes minerales presentes en la alimentación: pegmatita, anfíbolita, dolomita y calcita, de izquierda a derecha) se trituró y se tamizó previamente en diferentes fracciones de tamaño. La fracción de tamaño de entre 11 y 60 mm se pasó por un clasificador de rayos X Mikrosort AQ1101 con el objetivo principal de retirar la dolomita y la pegmatita del carbonato cálcico.

5 Los resultados, así como la fig. 5b que muestra lo aceptado y la fig. 5c que muestra los desechos tras la clasificación por rayos X, respectivamente, demuestran claramente que se puede detectar la mayoría de las impurezas (dolomita, pegmatita) y retirarlas con éxito mediante la clasificación por rayos X. Tal y como se describe en la tabla 4, se retiraron el 82 % del peso de las partículas de dolomita y más del 99 % del peso de las partículas de pegmatita, recuperando el 67 % del peso de la masa en el material aceptado y perdiendo solamente el 7,7 % del peso del carbonato en los desechos.

10 **Tabla 4**

Nº de prueba	Material de alimentación		Producto (creta)		Desecho (sílex)		Datos de rendimiento		
	Tamaño de las partículas [mm]	Sílex en la alimentación [% del peso]	Producto de aprovechamiento en serie [% del peso]	Sílex en el producto [% del peso]	Desecho de aprovechamiento en serie [% del peso]	Creta en el desecho [% del peso]	Sílex en el desecho [% del peso]	Aprovechamiento del sílex [% del peso] APROVECHAMIENTO	Pérdida de creta [% del peso] PÉRDIDA DE CALCITA
1	10 – 35	3,30	93,35	0,20	6,65	53,57	46,4	94,4	3,7
2	35 - 60	8,46	91,12	0,40	8,88	8,91	91,1	95,7	0,9

REIVINDICACIONES

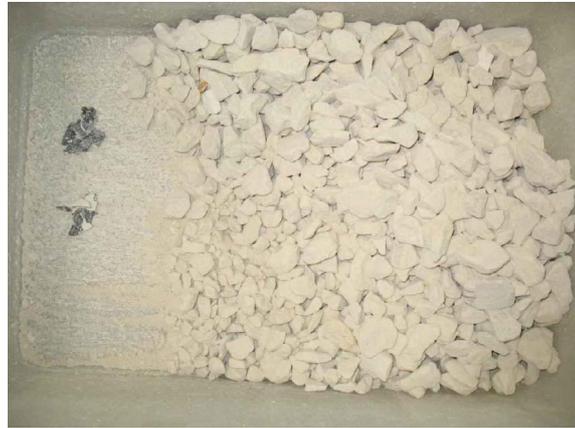
1. Método para separar impurezas minerales asociadas a las mismas de rocas que contienen carbonato cálcico mediante los pasos de:
  - triturar y clasificar las rocas de carbonato cálcico a un tamaño de partículas situado en la gama de tamaños de partículas que va desde 1 hasta 250 mm,
  - separar las partículas de carbonato cálcico eliminando las partículas que comprendan componentes distintos del carbonato cálcico mediante medios que están situados corriente abajo con respecto a una zona de detección y son susceptibles de ser controlados por medios de evaluación controlados por ordenador en función de señales de sensores que resultan de la radiación que atraviesa un flujo de dichas partículas, siendo dicha radiación emitida por una fuente de rayos X y capturada en al menos unos medios sensores, en donde se permite que los rayos X pasen al menos dos dispositivos de filtración en relación con espectros de energía mutuamente distintos, situados corriente arriba con respecto a los medios sensores que son al menos unos y líneas de sensores con una pluralidad de píxeles individuales situados transversalmente al flujo de partículas como medios sensores, estando prevista una línea de sensores para cada uno de los filtros que son al menos dos.
2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado porque** las partículas se transportan en una cinta transportadora («clasificador tipo cinta») o dejándolas caer por una rampa («clasificador tipo rampa/gravedad»).
3. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** se forma una línea de sensores que encaja con el ancho de dicho flujo de partículas mediante medios detectores dispuestos linealmente.
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** los filtros que son al menos dos son folios de metal a través de los que se transmiten los rayos X de los diferentes niveles energéticos.
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** los filtros que son al menos dos están situados bajo el flujo de partículas y corriente arriba con respecto a los sensores, y un tubo de rayos X, que produce un espectro de radiación de frenado, está posicionado sobre el flujo de partículas.
6. Método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** los filtros que son al menos dos incluyen una pluralidad de filtros para usar con una pluralidad de niveles de energía.
7. Método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la filtración de la radiación de rayos X que ha atravesado las partículas, se filtra en al menos dos espectros diferentes filtrados mediante el uso de folios de metal para lograr una captura resuelta mediante la localización de dicha radiación de rayos X que ha atravesado dichas partículas, integrados en al menos una línea de sensores, dentro de un intervalo de energía predeterminado.
8. Método según la reivindicación 7, **caracterizado porque** se producen una clasificación Z y una estandarización de áreas de imagen para determinar una clase de densidad atómica en base a las señales de sensor de los fotones de los rayos X de los distintos espectros de energía capturados en al menos dos líneas de sensores.
9. Método según cualquiera de las reivindicaciones 7 u 8, **caracterizado porque** se produce una segmentación de una formación característica de clases para controlar las toberas de soplado partiendo tanto de la transmisión media detectada de dichas partículas de ese material a granel en los diferentes espectros energéticos de los rayos X capturados por los sensores que son al menos dos, como de la información de densidad obtenida mediante la estandarización Z.
10. Método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** las rocas que contienen carbonato cálcico se eligen entre el grupo formado por las rocas de origen sedimentario y metamórfico, como la piedra caliza, la creta, el mármol y la dolomita.
11. Método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** las impurezas minerales se eligen entre el grupo formado por cantidades diversas de rocas o minerales que contienen dolomita y sílice, como el sílice en forma de sílex o cuarzo, feldespatos, anfibolitas, micaesquistos y pegmatita, en forma de diseminaciones, nódulos o capas dentro de la roca de carbonato cálcico, o como rocas secundarias.
12. Método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes,

**caracterizado porque** las rocas que contienen carbonato cálcico se trituran hasta obtener un tamaño de partículas situado dentro de la gama de tamaños que va desde 5 hasta 120 mm, preferiblemente desde 10 hasta 100 mm, mejor aún desde 20 hasta 80 mm, especialmente desde 35 hasta 70, y por ejemplo desde 40 hasta 60 mm.

- 5
13. Método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes,  
**caracterizado porque** una o varias fracciones de diferentes tamaños de las partículas trituradas se someten al paso de separación.
- 10
14. Método según la reivindicación 13,  
**caracterizado porque** la proporción del tamaño mínimo/máximo de las partículas en una fracción es, por ejemplo, 1:4, preferiblemente 1:3, y mejor aún 1:2.
- 15
15. Método según cualquiera de las reivindicaciones 13 o 14,  
**caracterizado porque** los tamaños de las partículas de una fracción están en un intervalo de entre 10 y 30 mm, preferiblemente en un intervalo de entre 30 y 70 mm, y mejor aún en un intervalo de entre 60 y 120 mm.
- 20
16. Método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes,  
**caracterizado porque**, tras la fase de separación, las partículas de carbonato cálcico se someten a un paso de trituración.
17. Método según la reivindicación 16,  
**caracterizado porque**, tras el paso de trituración, las partículas de carbonato cálcico se someten a un paso de clasificación.

1/6

**Figura 1a**



**Figura 1b**



2/6

*Figura 2a*



*Figura 2b*



3/6

**Figura 3a**



**Figura 3b**

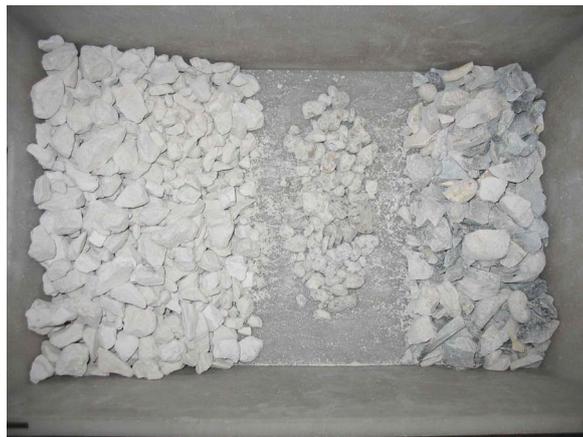


4/6

*Figura 4a*



*Figura 4b*

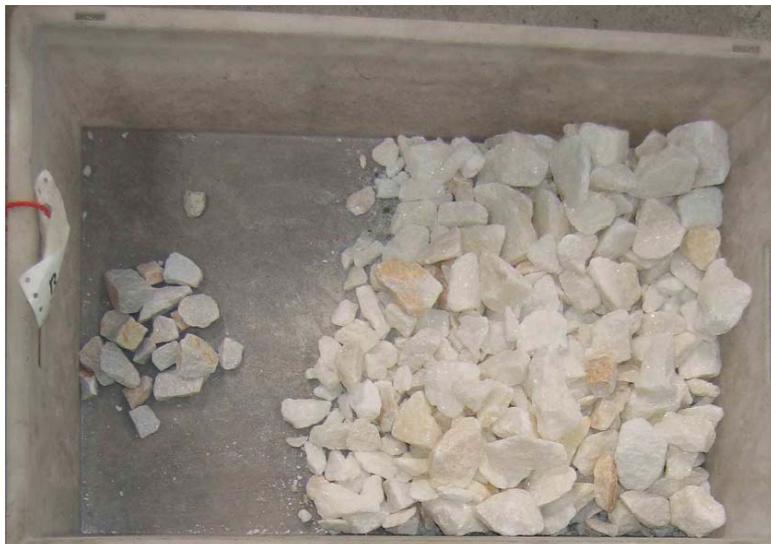


5/6

*Figura 5a*



*Figura 5b*



6/6

*Fig. 5c*

