

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 769 252**

51 Int. Cl.:

**G01N 21/85** (2006.01)

**G01J 3/28** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.05.2007 PCT/EP2007/054495**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.11.2007 WO07128832**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.05.2007 E 07728947 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2019 EP 2016395**

54 Título: **Sistema analizador de material a granel**

30 Prioridad:

**10.05.2006 EP 06405196**

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

**25.06.2020**

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)  
BROWN BOVERI STRASSE 6  
5400 BADEN, CH**

72 Inventor/es:

**MOUND, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 769 252 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**

Sistema analizador de material a granel

**Referencia cruzada a aplicaciones relacionadas**

Esta solicitud reivindica la prioridad de la solicitud de patente Europea No. 06405196.4 presentada el 10 de mayo de 2006.

**Antecedentes de la invención**

La presente invención se refiere a un sistema de análisis de material a granel en tiempo real para analizar las características elementales del material a granel que se transporta en una cinta transportadora.

Las cintas transportadoras se utilizan ampliamente para transportar materiales a granel tales como piedra caliza, bauxita, mineral de cobre, mineral de zinc, mineral de plomo, mineral de hierro, sílice, roca de fosfato, potasa, arcilla, tierras raras, materiales de desecho, tiza, carbón y coque, alúmina, marga, pirita, cenizas volantes, etc. Una cinta transportadora consta de dos poleas de extremidad, con una cinta continua que gira alrededor de ellas en un bucle continuo sin fin. Las poleas se energizan, moviendo la cinta y el material a granel cargado en la cinta hacia adelante a velocidades fijas o variables. Ciertas aplicaciones industriales requieren analizar la composición exacta o promediada del material a granel que se transporta en las cintas transportadoras desde un punto de proceso a otro.

Los materiales a granel normalmente se caracterizan en sus estados de materia prima (premezclados) o después de un procedimiento de mezclado (mezcla física de materias primas componentes) a través de un sistema de proporcionar alimentadores desde contenedores o silos que contienen características de composición relativamente homogéneas.

Tradicionalmente, el análisis de los componentes de materia prima o de materiales mezclados se ha logrado mediante la extracción de muestras y el transporte manual de las mismas o mediante un sistema de muestreo y transporte neumático "tubo neumático" automático a un laboratorio central para su análisis donde son sometidos a análisis. Los resultados se comunican a una variedad de medios para ajustar las proporciones para cumplir, p. ej., una receta de mezcla deseada.

Esta disposición, aunque proporciona altas precisiones, no puede satisfacer las necesidades de análisis en tiempo real para un control rápido y en tiempo real, ya que el tiempo requerido para el muestreo, división, transporte, preparación y análisis puede variar desde un mínimo de varios minutos hasta una hora o más. Durante este retraso, los materiales en rápido movimiento representados por la muestra analizada han pasado hace tiempo puntos de control y los ajustes que se realizan a continuación en respuesta a los resultados procedentes de los análisis de las muestras podrían ser inadecuados o simplemente que sea demasiado tarde para las acciones correctivas tomadas.

La solución básica buscada por la industria de procesamiento de material a granel es analizar los materiales a medida que pasan, o están expuestos de alguna manera a sistemas analíticos, mientras que los materiales permanecen sin cambios físicos ni químicos y pasan ininterrumpidamente en su lecho ubicado en la cinta transportadora móvil. Normalmente no se desea ni se permite ningún intento de detener o disminuir la velocidad de la cinta transportadora simplemente para acomodar el análisis como una restricción necesaria para permitir la producción y el procesamiento en tales entornos de producción.

**Técnica anterior**

Se han puesto en práctica algunos métodos para lograr formas elementales y, por lo tanto, en forma de óxidos de los constituyentes químicos de los diversos materiales en bruto o mezclados. Sin embargo, están limitados en número en términos de aplicación práctica y están utilizando principalmente sistemas de activación de neutrones. Estos sistemas así llamados de Análisis de Activación Rápida de Neutrones Gamma (PGNAA) requieren isótopos radiactivos para el flujo de neutrones, tales como el isótopo del Californio, Cf<sub>252</sub> o un generador (tubo) de neutrones. Los sistemas de activación de neutrones aplican una técnica potencialmente peligrosa para los seres humanos que requiere una protección cuidadosa permanente para los seres humanos a la exposición directa o indirecta y costosos reemplazos de isótopos o tubos generadores. La corta vida media del Cf<sub>252</sub> es solo de aproximadamente dos años y medio y el requisito de reemplazo de generadores de tubos de neutrones, normalmente cada año a año y medio, representan costos de mantenimiento elevados y dificultades para convencer a las autoridades de la seguridad. en el transporte y operación de ambas fuentes de neutrones. Además, la radiación gamma resultante de los materiales a granel analizados, que es causada por la activación de neutrones de los núcleos de los materiales irradiados, representa riesgos adicionales para la salud y el medio ambiente.

Otras técnicas que se han intentado, como sistemas de rayos X de alta potencia o sistemas de difracción de rayos X, también requieren un estricto cumplimiento de las autoridades reguladoras locales. En algunos lugares, la presencia de tales dispositivos está totalmente prohibida.

El documento US 2003/0123056 expone una agrupación de instrumentos de imágenes hiper-espectrales para explotar información de firma detallada multiespectral, hiper-espectral y ultra-espectral y sin imágenes. Esto se logra en tiempo

real para identificar las características espectrales únicas del objetivo. La agrupación de instrumentos contiene al menos un sensor hiper-espectral mecánicamente integrado instalado en un bastidor de hardware fijo o móvil y con el mismo eje de puntería que una cámara digital montada de manera similar, una fuente de luz visible calibrada, una fuente térmica calibrada y una fuente de fluorescencia calibrada en un pequeño punto en el objetivo. El objetivo se mueve a través de la agrupación, permitiendo que la agrupación efectúe la recopilación de datos espectrales absolutos corregidos radiométricamente contra el objetivo a altas resoluciones espaciales y espectrales.

El documento US2004/232339 expone un puesto de trabajo de formación de imágenes hiper-espectrales que incluye sensores UV y VNIR juntos en un solo recinto. Cada sensor captura una imagen de un objetivo o muestra, lo que da como resultado, conjuntos de datos UV y VNIR respectivos que luego se fusionan en un solo conjunto de datos hiper-espectrales que incluye una banda espectral contigua muy correlacionada en un intervalo de 200 a 1000 nanómetros

El documento WO2006/054154 describe un aparato y un método de identificación y clasificación de partículas objetivo usando espectroscopía de reflectancia en el intervalo espectral visible (VIS) al infrarrojo cercano (NIR). En una versión, se usa un aparato de formación de imágenes hiper-espectrales para identificar y clasificar partículas objetivo dentro de un lote de partículas, el aparato comprende una bandeja para soportar el lote de partículas, medios de nivelación para nivelar el lote de partículas sustancialmente en una monocapa, un sistema de escaneo hiper-espectral para escanear el lote de partículas, para producir una imagen hiper-espectral del lote de partículas, un clasificador para determinar las coordenadas de píxeles de las partículas objetivo en la imagen hiper-espectral, medios convertidores para convertir las coordenadas de píxeles en coordenadas globales de las partículas objetivo en la bandeja y medios de extracción de partículas objetivo para recoger las partículas objetivo basados en las coordenadas globales calculadas y para transferir las partículas objetivo recogidas a una disposición de almacenamiento.

El documento WO2004/106874 expone un aparato y un método para la medición fotoeléctrica. El aparato comprende un único dispositivo o una pluralidad de dispositivos de conversión fotoeléctrica, preferiblemente sensores de matriz tales como CCD, CMOS, CID y similares, un sistema óptico que se puede expandir modularmente en un eje o en una pluralidad de ejes para adquirir radiación electromagnética procedente de una línea o área de cualquier tamaño deseado en un objeto, con cualquier resolución deseada, en donde dicho sistema óptico separa preferiblemente dicha radiación electromagnética modularmente en una pluralidad de segmentos más pequeños, y proyecta radiación electromagnética correspondiente a dichos segmentos más pequeños sobre dicho único dispositivo o una pluralidad de dispositivos de conversión fotoeléctrica individuales y electrónica de sensor relacionada con dicho dispositivo o dispositivos de conversión fotoeléctrica que permiten definir y cambiar el modo operativo y la funcionalidad de dichos dispositivos de conversión fotoeléctrica en tiempo real, mediante el cual funciones tales como la secuencia de lectura de píxeles y la flexibilidad ilimitada de mezclado de píxeles en dos dimensiones son totalmente programables, y dichos dispositivos de conversión fotoeléctrica pueden funcionar y/o ser controlados de forma independiente y/o simultánea.

FELDHOFF R ET AL: "ON-LINE POST CONSUMER PACKAGE IDENTIFICATION BY NIR SPECTROSCOPY COMBINED WITH A FUZZYARTMAP CLASSIFIER IN AN INDUSTRIAL ENVIRONMENT", APPLIED SPECTROSCOPY, THE SOCIETY FOR APPLIED SPECTROSCOPY. BALTIMORE, US, vol. 51, nº 3, Marzo de 1997, páginas 362-368, XP000698673 describe un sistema y método para identificación de un paquete de consumidor posterior en línea.

El documento GB 2111 193 describe el preámbulo de la reivindicación 1.

Como los espectrómetros de formación de imágenes hiper-espectrales no pueden penetrar en profundidad, la formación de imágenes hiper-espectrales no se ha considerado un medio práctico para el análisis de material a granel elemental en tiempo real.

### Resumen de la invención

Por lo tanto, es un objeto de la presente invención proporcionar un sistema de análisis de material a granel en tiempo real según la reivindicación 1.

El sistema de análisis de material a granel en tiempo real comprende una fuente de iluminación consistente que emite luz blanca para excitar el material a granel y un espectrómetro de formación de imágenes hiper-espectrales para capturar la reflectancia espectral del material a granel expuesto a la luz blanca.

El uso de técnicas hiper-espectrales permite la caracterización a través de varias versiones de reflectancia o absorción por luz blanca, tales como, pero no limitado a NIR de longitudes de onda variables, técnicas láser (LIBS = Espectroscopía de Ruptura Inducida por Láser) mediante el uso de

(a) una fuente de luz,

(b) una agrupación de componentes espectrales que dividen y recogen haces utilizando rejillas de colimación, detectores térmicos o generadores de plasma, y

(c) una agrupación de detectores dentro de espectrómetros pequeños y robustos para proporcionar una firma espectral.

El material a granel se excita al ser iluminado por luz dirigida sobre el material a granel procedente de una fuente de luz que se puede configurar a diferentes frecuencias para mejorar aún más la formación de imagen del material a granel haciendo que el material a granel refleje o absorba la luz en longitudes de onda características e identificables.

5 En los edificios de acopio, la salida de la trituradora secundaria es de forma normal aproximadamente homogénea. Por lo tanto, con el sistema de análisis de material a granel en tiempo real, el material a granel se puede analizar sin exponer el material o el medio ambiente a radiaciones peligrosas como sería el caso con sistemas profundos o totalmente penetrantes.

Algunos de los principales beneficios del sistema de análisis de material a granel en tiempo real están representados por

- 10 - un costo de adquisición mucho menor (se espera que el precio del usuario final sea aproximadamente un 25% del de los analizadores en línea de neutrones convencionales, es decir, PGNAA),
- su mantenimiento relativamente bajo y facilidad de uso y control, cuando no se tiene experiencia técnica se requiere para poner en funcionamiento o usar de forma regular,
- su menor costo total de propiedad gracias a su simplicidad, robustez y facilidad de uso,
- 15 - su versatilidad debido a la consecuencia natural de la identificación de un gran número de elementos diferentes puede medirse simultáneamente tanto cualitativa como cuantitativamente,
- su naturaleza no peligrosa, ya que no se utilizan fuentes de sistemas de activación por rayos X o neutrones para excitar el material a analizar,
- su robustez (adecuado para entornos hostiles de plantas de producción). Esto se debe a que los dispositivos de formación de imágenes hiper-espectrales se han alojado y empaquetado para soportar los rigores de los entornos
- 20 espaciales, las temperaturas extremas y todas las variedades de climas en lugares terrestres, aéreos y espaciales no protegidos, y
- su portabilidad ya que no se requiere una protección extensa debido a la ausencia de cualquier fuente de excitación peligrosa.

#### Breve descripción de los dibujos

25 Una vez que se han establecido algunas de las características, ventajas y beneficios de la presente invención, otros resultarán evidentes a medida que avance la descripción cuando se toma en combinación con los dibujos, en los cuales:

La fig. 1 muestra esquemáticamente una vista lateral de un sistema de análisis material a granel

La fig. 2 muestra esquemáticamente una vista superior del sistema de análisis de material a granel de la fig. 1,

30 La fig. 3 muestra un primer plano mejorado de la vista superior del sistema de análisis de material a granel de la fig. 2 que muestra esquemáticamente la ranura de entrada del espectrómetro de formación de imágenes hiper-espectrales, y

La fig. 4 muestra esquemáticamente la conversión del escaneado esférico unidimensional a la imagen esférica/espectral bidimensional y a la firma espectral.

#### Descripción de las realizaciones preferidas

35 La presente invención se describirá ahora más completamente a continuación con referencia a los dibujos adjuntos que ilustran realizaciones preferidas de la invención. Sin embargo, esta invención puede realizarse de muchas formas diferentes y no debe interpretarse como limitada a las realizaciones establecidas en este documento. En su lugar, estas realizaciones se proporcionan de modo que esta descripción sea exhaustiva y completa, y transmitirá completamente el alcance de la invención a los expertos en la técnica. Los números similares se refieren a elementos similares en todas partes.

40 Como se muestra en la fig. 1, el sistema de análisis de material a granel de la invención comprende un espectrómetro 20 de formación de imágenes hiper-espectrales que está instalado encima de una cinta transportadora 10 móvil que transportará el material 30 a granel que ha de ser analizado. Se instala una fuente de iluminación que emite luz blanca en algún lugar cerca del sensor, preferiblemente apuntando un haz de luz delgado pero ancho sobre el material a granel a lo largo de la cinta transportadora. La fuente de iluminación puede comprender varios emisores de luz dispuestos encima

45 de la cinta transportadora.

El espectrómetro de formación de imágenes hiper-espectrales comprende varios componentes ópticos. La lente frontal 21 está instalada a una altura predefinida sobre la cinta transportadora. Se enfoca en una pequeña franja en la cinta transportadora que está iluminada por la luz emitida por la fuente 50 de iluminación. Una pequeña ranura 26 de entrada que está dispuesta en una placa detrás de la lente frontal actúa como un tope de campo para determinar el campo de

visión en dirección espacial a través de la cinta transportadora que será escaneada por el espectrómetro de formación de imágenes hiper-espectrales. La fig. 3 muestra un primer plano de la ranura 26 de entrada y muestra esquemáticamente el área cubierta 31, del material a granel 30. Detrás de la ranura de entrada y de una lente colimadora 22, se disponen los componentes ópticos utilizados para separar las direcciones de propagación de radiaciones de diferentes longitudes de onda. En la realización ejemplar, esto se realiza mediante un componente de prisma-rejilla-prisma, después de lo cual una lente 24 de enfoque alinea los haces de diferentes longitudes de onda para que puedan ser capturados por una matriz 25 de CCD bidimensional. Una matriz de CCD (dispositivo de carga acoplada) es un sensor para grabar imágenes, que consiste en un circuito integrado que contiene una agrupación de condensadores conectados o acoplados. La señal 42 de salida de una matriz de CCD puede procesarse en una unidad 60 de control que está conectada al espectrómetro 20 de formación de imágenes hiper-espectrales. La unidad 60 de control comprende preferiblemente un ordenador que tiene al menos un procesador y memoria. Las señales de salida de la matriz de CCD se pueden transmitir a través de fibra óptica o de un cable de ancho de banda alto o de un enlace de radiofrecuencia.

La fig. 2 muestra una vista superior de la cinta transportadora 10 moviéndose de izquierda a derecha y transportando material 30 a granel. Marcadas con rectángulos punteados están las áreas escaneadas en la cinta transportadora. A medida que el material a granel pasa por el espectrómetro de formación de imágenes hiper-espectrales, se toman escaneos instantáneos o bien de forma continua, en períodos regulares o bajo demanda.

Para cada escaneo, p. ej., en el escaneo más reciente del área 31<sub>t</sub>, el espectrómetro de imágenes hiper-espectrales genera una matriz de salida bidimensional y la reenvía a la unidad de control para su posterior procesamiento.

Como se muestra en la fig. 4, la matriz de salida bidimensional comprende valores que representan la cantidad de energía de una determinada longitud de onda reflejada desde el material a granel a lo largo de la cinta transportadora. Una dimensión de la matriz corresponde a la distribución esférica a lo largo de la cinta transportadora (eje x) y la otra dimensión corresponde al intervalo de longitud de onda de la energía reflejada (eje z). Cada punto capturado de material a granel a lo largo de la cinta transportadora tiene su propia firma espectral 43 que representa la energía reflejada por el material a granel en ese punto particular distribuida de acuerdo con la longitud de onda.

Para factorizar la distribución esférica a lo largo de la cinta transportadora (eje y) en las señales de salida, se puede apilar la matriz de salida bidimensional de varios escaneos separados temporalmente que definen un cubo tridimensional.

Para facilitar el análisis espectral, la resolución de la matriz de salida bidimensional se puede reducir a lo largo del eje x. En una de dichas realizaciones particularmente simples del sistema inventivo de análisis de material a granel, la resolución de la matriz de salida a lo largo del eje x se reduce a un píxel, de modo que para todo el ancho de la cinta transportadora solo hay una firma espectral reenviada a la unidad de control. Esta firma espectral única se analiza y compara a continuación con un conjunto de firmas espectrales previamente registradas y almacenadas de posible composición del material. En la mayoría de las aplicaciones de cintas transportadoras, la distribución de diferentes materiales a lo largo de la cinta transportadora no es importante ya que solo importa la composición del material a granel, es decir, la existencia de ingredientes específicos en la cantidad correcta. Esta aplicación con una resolución reducida del espectrómetro se usa más preferiblemente en aplicaciones con solo un pequeño número de ingredientes posibles para observar.

En el sistema de análisis de material a granel de la invención, solo se requiere luz blanca para la iluminación constante que ha de proporcionar una fuente de iluminación para la división infrarroja para causar la estructura espectral reflectante de los materiales a granel contenidos. Los infrarrojos, que incluyen NIR (infrarrojo cercano), VNIR (visible e infrarrojo cercano), SWIR (infrarrojo de onda corta) y TIR (infrarrojo térmico), abarca un intervalo de longitud de onda de 750 a 2500 nanómetros (nm) a efectos de caracterización elemental de materiales.

Como el material a granel a menudo comprende material oxidado, es un objeto del sistema de la invención reconocer los óxidos y convertirlos a la forma elemental. Los óxidos se pueden referir a través de cálculos incorporados de conversiones estándar desde elementos a sus formas de óxido. Como ejemplo: el aluminio, Al, puede convertirse en óxido de aluminio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> por un factor de conversión automático de 1,8895 veces la cantidad referida del elemento Al. Factores de conversión similares se hacen fácilmente con fines informativos para cualquier elemento de interés detectado. Estos factores de conversión son estándar para informar resultados basados en propiedades químicas conocidas de todos los elementos en sus formas atómicas o moleculares y pueden proporcionarse como resultados informados de análisis utilizando cálculos simples integrados en el software del dispositivo.

Varios de estos espectrómetros pueden usarse para proporcionar efectivamente la relación señal/ruido más fuerte para varios intervalos espectrales dentro de las longitudes de onda de los elementos a analizar. En una disposición de varios espectrómetros, cada uno de los sensores espectrales se puede apuntar simultáneamente para que una línea recta imaginaria se extienda desde el centro de cada sensor hasta un punto común en el material a granel a analizar. Alternativamente, en una disposición de varios espectrómetros, se pueden hacer informes espectrales superpuestos mediante inclinación en un ángulo preciso de los espectrómetros utilizados para proporcionar un paso de franja escaneado a lo ancho de la cinta transportadora.

El proceso de análisis de material a granel con el sistema de análisis de material a granel de la invención comprende las siguientes etapas:

5 En una primera etapa, una imagen esférica/espectral bidimensional es capturada por la Matriz de CCD. La radiación desde la ranura 26 de entrada es colimada por una lente 22 y luego dispersada por un elemento dispersante 23, en la realización ejemplar, un elemento prisma-rejilla-prisma, de modo que la dirección de propagación de la radiación depende de su longitud de onda. Luego es enfocado por una lente 24 de enfoque en un plano de imagen, donde la imagen es capturada por el detector bidimensional, la Matriz de CCD 25. La Matriz de CCD produce una señal de salida de energía reflejada a una longitud de onda específica 42. Cada punto a lo largo del eje esférico (véase la fig. 4, puntos 0 y n en el eje x a lo largo de la cinta transportadora) está representado en el plano de imagen bidimensional por una serie de imágenes monocromáticas que forman un espectro continuo en la dirección del eje espectral, que luego se convierte en la firma espectral 43.

Las firmas espectrales se crean a partir de la imagen esférica/espectral bidimensional capturada por la Matriz de CCD. Cada punto a lo largo del eje x esférico en la cinta transportadora tiene su propia firma espectral unidimensional.

15 En una segunda etapa, la firma espectral de cada punto se compara con un conjunto de calibraciones almacenadas que representan concentraciones esperadas de estándares previamente caracterizados. Esto se hace en tiempo real con la ayuda de un software informático. Como resultado, se identifica la característica de los materiales de cada punto en el material a granel distribuido a lo largo de la cinta transportadora.

20 En una siguiente etapa, se recopila la información de todos los puntos individuales para obtener la distribución general del material dentro del material a granel escaneado. Los elementos específicos o sus óxidos pueden identificarse por lo tanto en cuanto a su presencia y caracterizarse en cuanto a las concentraciones mediante intensidades de firmas espectrales detectadas y reconocidas.

25 Se puede usar cualquier cantidad de técnicas quimiométricas para proporcionar espectros de ajuste así obtenidos a la biblioteca de espectros almacenada. En la calibración inicial del dispositivo, se almacenan espectros de materiales a granel esperados para cubrir todos los intervalos posibles de concentraciones y mezclas (mezclas) de contribuyentes elementales a los espectros recuperados y resueltos. Dichos espectros adquiridos se "comparan" con los espectros almacenados para definir cómo se comparan los espectros adquiridos con una agrupación de óxidos predicha. La precisión del ajuste de los espectros adquiridos y su diferencia de altura con respecto a la biblioteca espectral estándar almacenada en el dispositivo determina tanto el contenido como la cantidad de los elementos/óxidos en función de los picos espectrales.

30 Los espectrómetros y sus rejillas, divisores de haz, detectores y conexiones de fibra óptica, contenidos, así como las fuentes de luz, se empaquetan preferiblemente en un alojamiento de escaneado fijado a una altura predeterminada por encima de la cinta transportadora en movimiento. El alojamiento así descrito está dispuesto de manera que esté ubicada normal al movimiento direccional hacia adelante de la cinta y su carga de material.

35 Las aplicaciones de esta técnica son adecuadas, pero no se limitan a, materiales transportados por transportadores industriales, tales como:

40 Piedra caliza, lutita, bauxita, mineral de hierro, mineral de cobre, mineral de zinc, mineral de plomo, minerales metalíferos (ferrosos y no ferrosos), sílice, roca de fosfato, potasa, arcilla, bentonita, productos farmacéuticos, manganeso, tierras raras, materiales de desecho, tiza, carbón y coque, alúmina, marga, pirita, cenizas volantes, lodos de cualquiera de los anteriores, fertilizantes que contienen fosfatos, componentes amoniacales, potasio/potasa, minerales industriales (cerámica, materias primas para la fabricación de vidrio, refractarios), compuestos de Magnesio, Cobalto, Níquel, Titanio, Cromo, Tungsteno.

En una aplicación ejemplar, el sistema de análisis de material a granel de la invención se usa en el proceso de mezcla de materiales a granel utilizados en la fabricación de cemento:

45 Los materiales a granel se alimentan a una serie de cintas transportadoras desde alimentadores que contienen materia de roca triturada más o menos homogénea. Estos materiales generalmente se denominan minerales cementosos y de fusión, que deben mezclarse físicamente (mezclarse) en una proporción específica antes de ser calcinados (reducidos, en términos químicos) por calentamiento y luego transportados, según el tipo de cemento para ser creado a partir de dichos materiales.

50 La proporción de cada una de las fuentes de material contribuyente debe ser vigilada por el sistema inventivo de análisis de material a granel para corregir los grados de componentes más o menos ricos o más pobres (de acuerdo con la química mineral contenida) mediante adiciones de cada material según sea requerido por un algoritmo de control que obtiene la química en tiempo real de los materiales a granel de forma independiente y colectiva a partir de los resultados informados por el sistema de análisis de material a granel inventivo.

Hay cuatro o más componentes clave, que son (en términos de óxidos):

## ES 2 769 252 T3

CaO	Normalmente procedente de piedra caliza de grado alto
SiO <sub>2</sub>	Procedente de arena, arenisca en distintas formas de silicato
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Normalmente procedente de bauxita o de materiales ricos en alúmina
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Procedente de cascarilla de laminación, mineral de hierro, o piritas

Los intervalos típicos encontrados para los materiales son:

Óxido en base seca	Intervalo de composición (valor típico)
CaO	25...30...55 %
SiO <sub>2</sub>	5...20...25 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0...8 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0... 8 %
MgO	0...6 %
K <sub>2</sub> O	0...3 %
Na <sub>2</sub> O	0...3 %
SO <sub>3</sub>	0...3 %

Las precisiones esperadas para el rendimiento dinámico con la invención son

Óxido en base seca	Precisión (RMSD, 1 hora) (%)
SiO <sub>2</sub>	0,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08
CaO	0,32
MgO	0,29
K <sub>2</sub> O	0,21
Na <sub>2</sub> O	0,11
SO <sub>3</sub>	0,20

La conversión de óxido a elemento procedente de un análisis elemental se obtiene, con fines de información):

Óxido en base seca	Factor de conversión (elemental)
SiO <sub>2</sub>	2,1393
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8895
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,4297
CaO	2,4973
MgO	1,6581
K <sub>2</sub> O	1,2046
Na <sub>2</sub> O	1,3480

- 5 Por lo tanto, el intervalo de calibración debe ampliarse para cubrir la piedra caliza de bajo y alto grado, porque la presencia de MgCO<sub>3</sub> en las piedras calizas impuras es importante cuando se mezcla con grados más altos, ya que es demasiado MgO (superior al 2,5%, por ejemplo) es un verdadero problema de calidad. Por lo general, 5 estándares de calibración son suficientes.

Alternativamente, se pueden usar diluciones para preparar una calibración. Esto se puede lograr mediante el uso de una matriz de diluyente neutro, tal como la piedra caliza pura de concentraciones conocidas de CaO, por ejemplo, para simplificar la factorización.

- 5 En la práctica, el contenido de humedad, que es lo que cabría esperar en las cintas transportadoras, podría superar el 5-8% (% en peso por litro). Esto se normaliza en la práctica mediante el uso de un medidor de humedad (generalmente un dispositivo de microondas de cambio de fase) asociado con el analizador de vigilancia. Cuando la humedad ambiental, incluida la precipitación, se tiene en cuenta en las cargas de cintas expuestas a la atmósfera, este es un requisito. Si se puede garantizar que la humedad no supere el 4-5%, entonces no es necesario un medidor de humedad y se puede hacer un cálculo matemático para la LOI.
- 10 Dado que los materiales variarán en densidades, se pueden usar medidas volumétricas o gravimétricas. Si las muestras así preparadas están aisladas de la degradación o el deterioro (encerradas en plástico sellado o similar), deben permanecer más o menos inmutables.
- 15 Un intervalo de muestras de calibración debe abarcar las muestras de intervalos típicos para evitar comprometer la capacidad del analizador de ajustar las variaciones a la curva de calibración resultante cuando se incorporan a la mezcla materiales alternativos y (normalmente) muy variables, como cabría esperar en un entorno de planta típico. Con el uso creciente de materias primas alternativas, aumenta la necesidad de análisis. Si se pudiera esperar un ancho de banda estrecho en las concentraciones de estos óxidos clave, la necesidad de vigilancia sería leve, mientras que un analizador calibrado para capturar variaciones en un amplio intervalo (dentro de límites razonables, por supuesto) resulta más atractivo.
- 20 El sistema de análisis de material a granel en tiempo real de la invención se aplica mejor a materiales a granel en un estado de partículas sólidas, polvos y lodos.
- 25 En los dibujos y en la memoria descriptiva, se han descrito realizaciones preferidas típicas de la invención, y aunque se emplean términos específicos, los términos se usan solo en un sentido descriptivo y no con fines de limitación. La invención se ha descrito con considerable detalle con referencia específica a estas realizaciones ilustradas. Sin embargo, será evidente que se pueden realizar diversos cambios y modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Lista de abreviaturas y símbolos de referencia usados

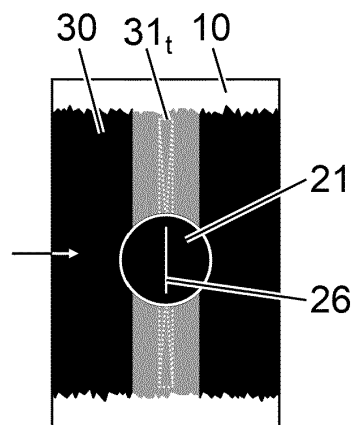
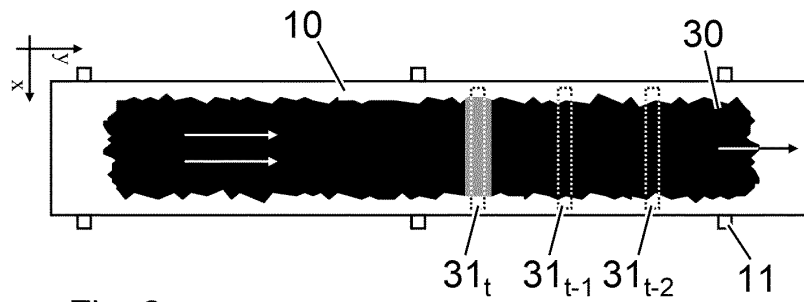
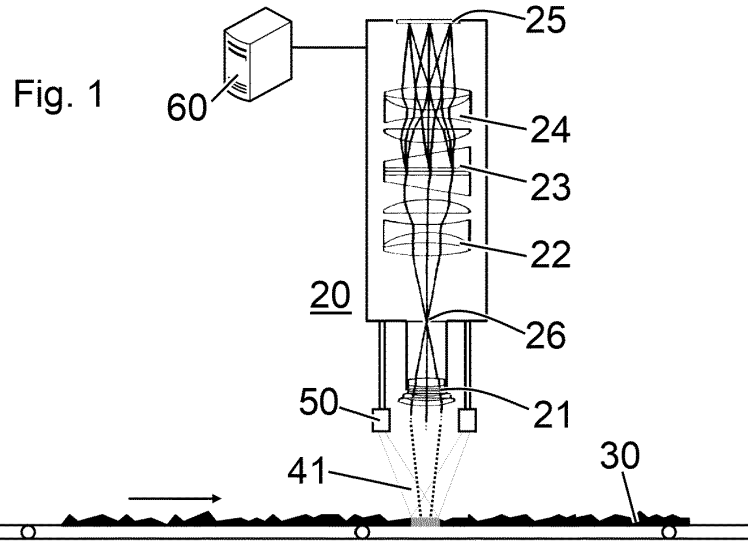
- 10 Cinta transportadora
- 11 Poleas de la cinta transportadora
- 30 20 Espectrómetro de formación de imágenes hiper-espectrales
- 21 Lente frontal con
- 22 Lente colimadora
- 23 Elemento dispersor, prisma-rejilla-prisma
- 24 Lente de enfoque
- 35 25 Matriz de CCD
- 26 Ranura de entrada
- 30 Material a granel
- 31<sub>t</sub> Área escaneada de material a granel en el tiempo t
- 41 Energía reflejada
- 40 42 Señales de salida de energía reflejada a una longitud de onda específica
- 43 Firma espectral
- 50 Fuente de iluminación
- 60 Unidad de control



**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de análisis de material a granel en tiempo real para analizar las características elementales del material (30) a granel que pasa por una cinta transportadora en movimiento, comprendiendo dicho sistema
- una fuente de iluminación (50) para excitar material (30) a granel que se ha de analizar,
- 5 - un sensor espectral (20) para capturar la reflectancia espectral procedente del material (30) a granel excitado por la fuente de iluminación, y
- una unidad (60) de control para comparar la reflectancia espectral capturada con una calibración almacenada caracterizado por que
  - dicha fuente (50) de iluminación está emitiendo luz blanca, y
- 10 - dicho sensor espectral (20) es un espectrómetro (20) de formación de imágenes hiper-espectrales que produce una imagen bidimensional, siendo una dimensión el ancho esférico de la cinta transportadora y siendo la otra dimensión la longitud de onda de la reflectancia, representando así cada punto de la imagen cantidad de energía a una longitud de onda específica reflejada desde un punto específico a lo largo de la cinta transportadora, siendo reenviados dichos datos de imagen a la unidad (60) de control,
- 15 - dicha unidad (60) de control comprende medios para comparar una firma espectral (43) para cada punto específico a lo largo de la cinta transportadora que ha sido capturada por el espectrómetro (20) con un conjunto de calibraciones almacenadas, que representan concentraciones esperadas de estándares previamente caracterizados, dicha firma espectral (43) comprende un espectro continuo de la cantidad de energía reflejada desde el punto específico sobre un intervalo de longitud de onda, estando configurado el sistema de material a granel en tiempo real para recopilar información de todos los puntos individuales para obtener la distribución total del material a granel, identificado por ello elementos específicos del material a granel o sus óxidos en lo que se refiere a presencia y concentración mediante intensidades de firmas espectrales detectadas y reconocidas, y
- 20
- estando configurado por ello el sistema de análisis del material a granel en tiempo real para vigilar cada fuente de material a granel de modo que corrija para grados más ricos o más pobres de los materiales a granel por adiciones de cada material a granel según sea requerido por un algoritmo de control que obtiene la química en tiempo real de los materiales a granel basándose en la comparación e identificación establecidas.
- 25
2. Sistema de análisis según la reivindicación 1, en el que el espectrómetro de formación de imágenes hiper-espectrales comprende una lente frontal (21) con una ranura (26) de entrada, estando dispuesta dicha ranura de entrada para que sea normal a la dirección de movimiento del material (30) a granel que pasa por el espectrómetro para permitir que la energía reflejada de solo una delgada franja que abarca todo el material a granel entre en el espectrómetro de formación de imágenes hiper-espectrales.
- 30
3. Sistema de análisis según la reivindicación 1 a 2, en el que el espectrómetro de formación de imágenes hiper-espectrales comprende una óptica de prisma-rejilla-prisma.
- 35
4. Sistema de análisis según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el sistema comprende además una cinta transportadora (10) para transportar material (30) a granel colocado sobre ella por delante de la fuente (50) de iluminación y del sensor espectral (20).
5. Método para el análisis elemental en tiempo real del material (30) a granel que se transporta en una cinta transportadora, comprendiendo dicho método las etapas de:
- iluminar el material a granel con luz blanca,
- 40 - capturar la reflectancia espectral del material a granel excitado por la luz blanca con un espectrómetro (20) de formación de imágenes hiper-espectrales, que produce una imagen bidimensional, siendo una dimensión un ancho esférico de la cinta transportadora y siendo la otra dimensión la longitud de onda de la reflectancia, representando así cada punto de la imagen cantidad de energía a una longitud de onda específica reflejada desde un punto específico a lo largo de la cinta transportadora,
- 45 - comparar una firma espectral para cada punto específico a lo largo de la cinta transportadora que ha sido capturada por el espectrómetro con un conjunto de calibraciones almacenadas, que representan concentraciones esperadas de estándares previamente caracterizados, comprendiendo dicha firma espectral un espectro continuo de la cantidad de energía reflejada desde el punto específico sobre un intervalo de longitud de onda,
- 50 - recopilar información de todos los puntos individuales para obtener la distribución total del material a granel, identificando por ello elementos específicos del material a granel o sus óxidos en lo que se refiere a presencia y concentración mediante intensidades de firmas espectrales detectadas y reconocidas,

vigilando por ello cada fuente de material a granel de modo que corrija grados más ricos o más pobres de los materiales a granel por medio de adiciones de cada material a granel según sea requerido por un algoritmo de control que obtiene la química en tiempo real de los materiales a granel basándose en la comparación e identificación establecidas.



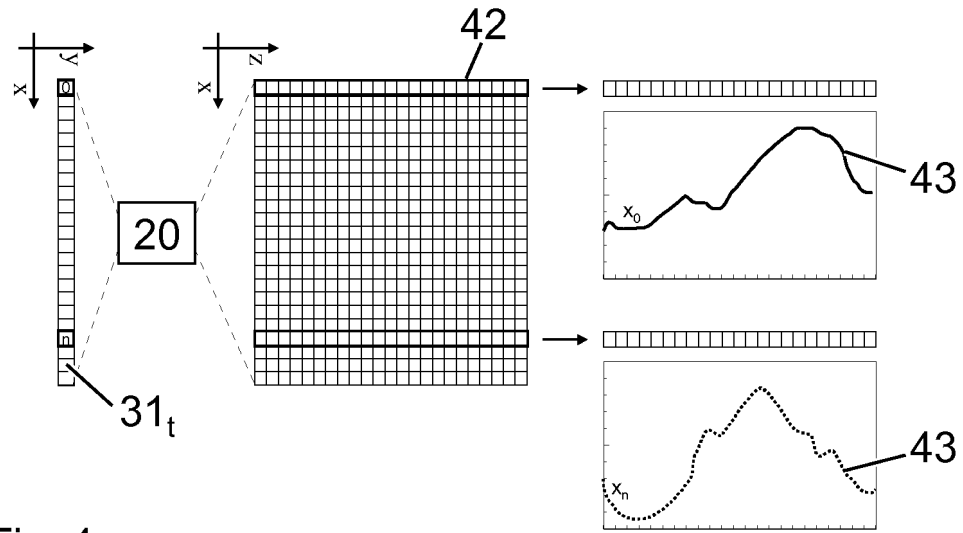


Fig. 4