

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 536 201**

51 Int. Cl.:

**G01N 23/222** (2006.01)

**G01N 23/09** (2006.01)

**G01N 23/12** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.08.2007** **E 07836695 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.02.2015** **EP 2069729**

54 Título: **Conjunto de analizador de material a granel que incluye vigas estructurales que contienen material de protección de radiación**

30 Prioridad:

**11.08.2006 US 837083 P**

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

**21.05.2015**

73 Titular/es:

**THERMO FISHER SCIENTIFIC INC. (100.0%)  
81 WYMAN STREET  
WALTHAM MA 02454, US**

72 Inventor/es:

**PROCTOR, RAYMOND JOHN;  
LUCCHIN, ANTON MARIO;  
ATWELL, THOMAS LELAND y  
CHIESMAN, MARK RUDY**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 536 201 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

Conjunto de analizador de material a granel que incluye vigas estructurales que contienen material de protección de radiación

## Antecedentes de la invención

- 5 La presente invención pertenece generalmente a los analizadores y está particularmente dirigida a un conjunto mejorado de componentes para construir un analizador de material a granel del tipo utilizado para analizar material a granel transportado en una cinta transportadora a través de una región de activación situada en un túnel entre al menos una fuente de radiación y al menos un detector de radiación dentro del analizador de material a granel.
- 10 Los analizadores de material a granel se utilizan para medir el contenido elemental de los materiales a granel. En un tipo de analizador de material a granel, la fuente de radiación incluye una o más fuentes de neutrones y el detector de radiación incluye uno o más detectores de rayos gamma que producen señales que son procesadas para proporcionar una medida del contenido elemental de material a granel. Cuando el material a granel es bombardeado con neutrones, se producen emisiones de rayos gamma procedentes del material a granel. Diferentes espectros característicos de la energía de rayos gamma son producidos a partir de diferentes elementos del material a granel. Procesando las señales detectadas que son indicativas del espectro de rayos gamma se proporciona una medida del contenido elemental del material a granel. Este proceso de medida se conoce como análisis de activación de neutrones de rayos gamma inmediatos (PGNAA). Además de contener la fuente de radiación y el detector de radiación, el material a conjunto analizador de material a granel incluye necesariamente una gran cantidad de material de protección de radiación con el fin de proteger a las personas que utilizan el analizador de material a granel de dosis dañinas de radiación. Como se ha utilizado aquí, la expresión "material de protección de radiación" significa material que absorbe, dispersa, atenúa y/o refleja la radiación de neutrones y/o la radiación gamma. La cantidad requerida de material de protección de radiación es tal que algunas realizaciones del conjunto analizador de material a granel son tan grandes que el conjunto no se puede manejar fácilmente para su transporte de un sitio a otro.
- 25 La Solicitud de Patente Europea N° 94304636.7 concedida a Atwell et al. describe un conjunto modular para un analizador de material a granel PGNAA del tipo en el que el material a granel es transportado en una cinta transportadora a través de una región de activación situada entre al menos una fuente de radiación y el menos un detector de radiación dentro del analizador de material a granel. Tal conjunto incluye medios contenedores que incluyen un módulo primario inferior que contiene el material de protección de radiación y que definen o bien al menos una cavidad de fuente de radiación o al menos una cavidad de detector de radiación, y un módulo primario superior que contiene material de proyección de radiación y que define la otra de la, al menos una, cavidad de fuente de radiación o la, al menos una, cavidad de detector de radiación que no está definida por el módulo primario inferior. El módulo primario inferior y el módulo primario superior tiene una forma de manera que el paso está delimitado por la colocación del módulo primario superior sobre el módulo primario inferior, y las partes del módulo primario inferior están conformadas para delimitar los lados de una depresión que está contorneada para adaptarse al paso de la cinta transportador a través de la región de activación. Las partes delimitantes de la depresión del módulo inferior están inclinadas hacia fuera desde la parte inferior del pasaje para adaptarse a un paso en una cinta transportadora que tiene un contorno complementario.
- 30 El conjunto modular descrito en la Solicitud de Patente Europea N° 94304636.7 se puede manejar fácilmente para el transporte y se puede instalar fácilmente alrededor de una cinta que es utilizada para transportar el material a granel que va a ser analizado, de manera que el analizador se puede instalar en una línea de procesamiento existente sin tener que cortar o desmontar de otro modo la cinta transportadora. Como el conjunto modular descrito ha sido aplicado en una amplia gama de aplicaciones, se ha encontrado que una realización dada del mismo se puede utilizar sólo con pequeños rangos de tamaños y formas de cinta transportadora. Aunque se han compensado pequeñas diferencias de forma en los tamaños y formas mediante la colocación de forros de material de moderación de neutrones de los tamaños y formas en los respectivos módulos adyacentes del pasaje, cuando tales diferencias no son pequeñas ha sido necesario proporcionar un conjunto analizador de material a granel totalmente diferente que incluye un pasaje a una depresión que tiene dimensiones y formas que son apropiadas para adaptarse al paso de la cinta transportadora.
- 45 La Solicitud de Patente Europea N° 99304694.5 concedida a Griebel et al. describe un conjunto modular flexible para un analizador de material a granel que se puede modificar para utilizar con amplios rangos de tamaños y formas de cinta transportadora. El conjunto incluye un primer módulo que contiene un material de protección de radiación y al menos una fuente de radiación; un segundo módulo que contiene material de protección de radiación y que incluye al menos un detector de radiación; y al menos dos módulos remplaceables, conteniendo cada uno material de protección de radiación, estratificados entre el primer módulo y el segundo módulo para separar el primer módulo del segundo módulo, con el, al menos uno, de los módulos remplaceables que está separado, para delimitar un túnel para el movimiento del material a granel a través de la región de activación.
- 50
- 55

También se conoce instalar un analizador de material a granel PGNA retirando una sección de una cinta transportadora existente y una estructura de soporte de transportador e instalando el analizador en la separación

creada de este modo en la estructura de soporte de transportador. Esta técnica elimina todos los materiales estructurales de soportes de cinta transportadora del volumen del análisis y evita señales externas procedentes de la contaminación del análisis. Sin embargo, el uso de esta técnica incurre en costes considerables en ingeniería mecánica, civil y eléctrica para rediseñar y reconstruir la estructura de soporte de transportador debilitada y para soportar el analizador.

### Sumario de la invención

La presente invención proporciona un conjunto de componentes para construir un analizador de material a granel del tipo que se utiliza para analizar el material transportado en una cinta transportadora a través de una región de activación situada en un túnel entre al menos una fuente de radiación y al menos un detector de radiación dentro del analizador de material a granel, de acuerdo con la reivindicación 1.

La presente invención también proporciona un analizador de material a granel construido con el conjunto de componentes anteriormente descrito.

El conjunto de componentes puede estar adaptado a diferentes estructuras de soporte de cinta transportadora y ser suficientemente flexible para permitir que un usuario cambie la posición de los componentes en campo.

El conjunto de componentes de analizador de material a granel de acuerdo con la presente invención se puede utilizar para construir un analizador de material a granel relativamente pequeño y ligero que se pueda montar directamente en las estructuras de soporte de transportador, sin retirar o modificar sustancialmente ninguna parte de la estructura de soporte de transportador existente. Las vigas estructurales que contiene material de protección de radiación están dimensionadas para el fácil montaje, son estructuralmente fuertes, y están dispuestas para proporcionar una buena protección de radiación de neutrones para con ello reducir al mínimo la producción de señales de rayos gamma no deseadas y tiene una larga vida en un ambiente industrial.

Las vigas estructurales que contiene material de protección de radiación preferiblemente están dispuestas para atenuar todas las trayectorias de fuga que permitan a los neutrones alcanzar la estructura de soporte de transportador u otros materiales de fondo, rodeando sustancialmente la fuente de neutrones y el volumen de análisis con escudos de absorción de neutrones situados estratégicamente. El analizador tiene muchas otras características novedosas que optimizan el rendimiento en el campo práctico y hacen posible cambios de configuración en el campo que sean realizados por un operario.

Las características adicionales de la presente invención se exponen en la descripción detallada de las distintas realizaciones.

### Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es una vista en perspectiva de una realización de un analizador de material a granel construido con un conjunto de componentes de acuerdo con la presente invención, en el que la caja de fuente de radiación está dispuesta debajo y la caja de detector de radiación está dispuesta encima de la región de activación.

La Fig. 2 es una vista en sección tomada a lo largo de la línea 2-2 de la Fig. 3 que muestra la disposición de los componentes ensamblados en el analizador de la Fig. 1.

La Fig. 3 es una vista en alzado lateral que muestra la disposición de los componentes montados en el analizador de la Fig. 1 en una realización que incluye una caja de detector de radiación.

La Fig. 4 es una vista en perspectiva de una realización de un analizador de material a granel construido con un conjunto de componentes de acuerdo con la presente invención, en el que la caja de fuente de radiación está dispuesta encima de la activación y la caja de detector de radiación está dispuesta debajo de la región de activación.

La Fig. 5 es una vista en sección tomada a lo largo de la línea 5-5 de la Fig. 6 que muestra la disposición de los componentes montados en el analizador de la Fig. 4.

La Fig. 6 es una vista en alzado lateral que muestra la disposición de los componentes montados en el analizador de la Fig. 4 en una realización que incluye una caja de detector de radiación.

### Descripción detallada

Haciendo referencia a las Figs. 1, 2 y 3, una realización de un analizador de material a granel 10 construido con un conjunto de componentes de acuerdo con la presente invención incluye una caja de fuente de radiación 11, una caja de detector de radiación 12, un conjunto de vigas estructurales apilables 14, 15, 16, 17, 18, 19, un bastidor rígido 22, escudos laterales 24 y láminas separadoras 26, 26a.

Estos componentes son los suficientemente ligeros y de dimensiones tales que pueden ser transportados por los operarios para la instalación en lugares en los que las grúas, carretillas elevadoras u otros medios de asistencia mecánica no se pueden utilizar, tal como, por ejemplo, alrededor de transportadores en túneles y otros lugares en

donde el acceso es restringido.

La caja de fuente de radiación 11 contiene al menos un receptáculo para material de fuente de neutrones. Típicamente el material de fuente de neutrones es insertado en la caja de fuente de radiación 11 a través de una trampilla 27 en el escudo lateral 24 después de que haya sido construido el analizador de material a granel. La caja de fuente de radiación 11 también contiene material de protección de radiación dispuesto alrededor del receptáculo(s) de material de fuente de neutrones. La caja de fuente de radiación 11 está dimensionada para adaptarse a las fuentes de neutrones de generación isotópica o de neutrones y para ser apilable con las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19. En una realización alternativa (no mostrada), dos o más cajas de radiación 11 están dispuestas lado con lado.

La caja de detector de radiación 12 incluye uno o más detectores de rayos gamma que producen señales que son procesadas para proporcionar una medida del contenido elemental del material a granel. La caja de detector de radiación 12 incluye también material de protección de radiación dispuesto entre el detector(s) de rayos gamma y los extremos de la caja 12. La caja de detector de radiación 12 está dimensionada para adaptarse a uno o más detectores y para ser apilable con las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19.

Las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19 contienen predominantemente material de protección de radiación. Una mayoría de vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19 son intercambiables.

El conjunto de componentes es utilizado para construir un analizador de material a granel del tipo en el que el material a granel 28 es transportado en una cinta transportadora 29 a través de una región de activación 30 situada en un túnel 32 entre al menos una fuente de radiación y al menos un detector de radiación dentro del analizador de material a granel. En esta realización, cuando el analizador de material a granel 10 está siendo utilizado, al menos una fuente de radiación está contenida dentro de la caja de fuente de radiación 11, que está dispuesta debajo de la cinta transportadora 29, y al menos un detector de radiación está contenido dentro de la caja de detector de radiación 12, que está contenida encima de la región de activación 30 en el lado opuesto de la región de activación 30 y la cinta transportadora 29 desde la fuente de radiación 11. La cinta transportadora 28 está soportada por una estructura de soporte de transportador, que incluye rodillos 34 dispuestos en miembros transversales 35 que se extienden entre un par de railes 36.

El conjunto de vigas estructurales apilables 14, 15, 16, 17, 18, 19 está configurado para apilarse alrededor de la región de activación 30, la caja de fuente de radiación 11 y la caja de detector de radiación 12 para evitar que radiación no deseada sea generada y transportada a la caja de detector de radiación 12 cuando las cajas 11, 12 están dispuestas en los lados opuestos de la región de activación 30 y la cinta transportadora 28 de cada una de las otras 12, 11.

En una realización, las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19 están hechas de tubos huecos de plástico estructural reforzado con fibras (FRP) que están rellenos de materiales de protección de radiación borados. El FRP es resistente a la humedad, corrosión, insectos, hongos, temperaturas extremas y luz del sol en un ambiente industrial durante periodos que exceden la vida útil de diez años de la mayoría de los analizadores. La sección transversal del tubo tiene tolerancia estrecha y permite en apilamiento con separaciones mínimas.

En una realización, el material de refuerzo de fibra es E-vidrio, que es un vidrio de borosilicato con 8-13% de  $B_2O_3$ . El  $B_2O_3$  absorbe los neutrones y suprime los rayos gamma producidos a partir de los materiales FRP.

El material de protección de radiación está diseñado para utilizar tanto con un generador Cf-252 como con un generador de neutrones.

Los materiales de protección de radiación son seleccionados para ser altamente hidrogenados, tales como, por ejemplo, polietileno, polipropileno y cera, con el fin de detener los neutrones rápidos. Los materiales de protección de radiación también contienen inhibidores de neutrones como Boro y Litio para suprimir la producción de rayos gamma en las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19.

En otra realización, las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19 son vigas de plásticos macizas. Aunque rígidas, algunas vigas estructurales de plástico macizas se pueden combar a lo largo de la vida útil del analizador de material a granel PGNA, el uso de vigas de plástico reforzadas con fibras de borosilicato tanto rigidiza la viga como suprime la producción de rayos gamma de las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19. El uso de plásticos reciclado es especialmente atractivo.

Las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19 se pueden apilar y son los suficientemente fuertes que se pueden atornillar juntas en los extremos. Las tapas de extremo FRP obturan y rigidizan los extremos de las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19. Cualquier pieza dañada se puede reemplazar fácilmente a un bajo coste.

En la realización preferida, las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19 son rectangulares para un fácil relleno y eficiente apilamiento. Alternativamente, se puede utilizar secciones triangulares, cuadradas, hexagonales u otras secciones transversales de viga. Las vigas redondas también se pueden utilizar si los huecos entre las vigas están rellenos. Alternativamente el espesor de la viga redonda se puede incrementar para compensar la pérdida de

material de protección de radiación en los huecos.

La naturaleza estructural de las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19 permite que los miembros de acero estructural del analizador de material a granel 10, tal como el bastidor 22, sean colocados lo suficientemente lejos de las regiones de alto flujo de neutrones de manera que se minimice cualquier producción de rayos gamma extraña de manera que el espectro de rayos gamma detectado resulte principalmente del material a granel 28 sobre la cinta transportadora 29 y no de la estructura de soporte del analizador 10.

La longitud de las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19 es variable y está determinada por el tamaño del analizador de material de a granel 10 es va a ser construido. En una realización preferida, las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19 son tubos de FRP rectangulares comerciales protruidos continuamente, cortados a la longitud deseada.

En un ejemplo, las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19 tiene una relación de anchura altura de 3:2. Esto proporciona flexibilidad en el apilamiento de las vigas para permitir un espesor unitario deseado de protección de radiación en el rango que incluye 2, 3, 4, 5, 6...etc. En tal ejemplo, las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19 tiene una sección transversal rectangular de seis por nueve pulgadas (152,4 mm por 228,6 mm). En tras realizaciones la relación de anchura y altura es de 1:1, 1:2, 1:3, etc., para permitir 1, 2, 3, 4, 5, 6, ...protecciones de radiación gruesas unitarias.

El bastidor 22 está montado directamente en los raíles 36 de la estructura de soporte de transportador, sin retirar o modificar sustancialmente ninguna parte de la estructura de soporte de transportador existente. El bastidor 22 es utilizado para soportar los extremos de al menos alguna de las vigas estructurales apiladas 14, 15, 16, 17, 18, 19 y los extremos de la caja de fuente de radiación 11 y la caja de detector de radiación 12 cuando el analizador de material a granel 10 está montado alrededor de una cinta transportadora in situ 29 y el sistema de soporte de cinta transportadora desde la parte inferior se eleva mediante el apilamiento de las vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19 alrededor de la región de activación 28, la caja de cuente de radiación 11 y la caja de detector de radiación 12.

Las ventajas proporcionadas por el montaje del bastidor 22 directamente en los raíles 36 de la estructura de soporte de transportador incluyen (a) ser capaz de construir el analizador alrededor de un sistema de soporte de cinta transportadora que está inclinado hacia arriba aproximadamente veinte grados desde la horizontal, (b) más resistencia a la vibración y maltrato, (c) sustitución más fácil de una viga estructural dañada 14, 15, 16, 17, 18, 19, y (c) elevación más fácil de la parte superior del analizador 10 por encima de la región de activación 30 cuando se ajusta la altura del túnel 32.

En los ejemplos, el bastidor rígido 22 está hecho de acero, aluminio u otro metal estructural. El montaje del bastidor 22 en los raíles después implica la sujeción de metal con metal mediante tornillos, soldadura, etc.

En un ejemplo alterativo, el bastidor 22 está hecho de FRP o algún otro compuesto para una mayor ligereza.

El número de vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19, que son apiladas y aseguradas el bastidor puede variar para la configuración flexible opcional de la disposición de material de protección de radiación. Menos vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19 son utilizadas cuando las intensidades de fuente de neutrones son mucho menores que la nominal, por lo que el analizador es más ligero proporciona un rendimiento inferior. Opcionalmente si se utilizan más detectores, entonces el rendimiento no se reduce. Son utilizados más vigas estructurales 14, 15, 16, 17, 18, 19 cuando se usa un generador de neutrones con más neutrones penetrantes.

En un ejemplo alternativo (no mostrado) las vigas estructurales están montadas directamente en los raíles 36 de la estructura de soporte de transportador.

Algunas de las vigas estructurales 15 que contiene material de protección de radiación están dimensionadas de manera que pueden estar dispuestas entre la caja de fuente de radiación 11 y la estructura de soporte de transportador 34, 35, 36 para reducir el problema de los rayos gamma emitidos desde la estructura de soporte de transportador que interfieren con el análisis PGNA del material 28 en la cinta transportadora 29.

Las restricciones físicas de montar un analizador de material a granel PGNA en la estructura de soporte de transportador han hecho que algunos fabricantes sitúen la mayoría del material de protección de radiación fuera de los límites de los raíles 36. Esto deja los raíles de la cinta y todos los elementos estructurales expuestos a un flujo de neutrones emitido por la fuente(s) de neutrones del analizador. La estructura de soporte de transportador normalmente incorpora varias aleaciones de acero, conductos eléctricos cerrados, líneas de transporte de aire y agua, y a menudo se sitúan muy próximos al suelo o al suelo de hormigón.

Desafortunadamente, los materiales atenuantes de rayos gamma también emiten sus propias alteraciones de rayos gamma cuando son expuestos a los neutrones. Estas señales no deseadas contaminan las señales útiles de los materiales de interés en la región de activación del analizador PGNA. Los neutrones procedentes de los analizadores PGNA montados sobre la estructura de soporte de transportador excitarán, por ejemplo, las fuertes señales de rayos gamma procedentes tanto del hierro del acero estructural, el cobre de los conductos de servicio, y el silicato, aluminio, calcio y hierro del suelo. Estas señales de fondo no deseadas, si no se suprimen, contaminarán

las emisiones de rayos gamma procedentes de los materiales de interés 28 sobre la cinta transportadora 26 y por tanto degradarán el análisis.

El material de protección de radiación de las vigas estructurales 15 que están dispuestas entre la caja de fuente de radiación 11 y la estructura de soporte de transportador 34, 35, 36 atenúan todas las trayectorias de fuga que podrían permitir que los neutrones alcancen la estructura de soporte de transportador u otros materiales de fondo, por lo que se evita cualquier excitación resultante de los rayos gamma procedente de la estructura de cinta transportadora. Por ejemplo, 15 mm de materiales de protección de radiación densos como plomo, bismuto atenúan sólo el 50% de rayos gamma de 5-millones de electrovoltios (MeV). Una reducción de flujo de rayos gamma a menos de un octavo del valor no atenuado requiere más de 50 mm de tal material de protección de rayos gamma.

El uso de 50 mm de materiales de protección altamente hidrogenados como polietileno, polipropileno, o cera como material de protección de radiación en las vigas estructurales 15 atenúa aproximadamente el 50% de los neutrones rápidos. Una reducción del flujo de neutrones a  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$  de su valor no protegido requiere protecciones de 50 + 50 + 50 mm = 150 mm de tales protecciones hidrogenadas o sus equivalentes. Mantener tal protección de radiación gruesa entre las regiones de elevado flujo de neutrones y los elementos estructurales y circundantes evita la excitación de los rayos gamma que podría interferir con el análisis de material. El uso de inhibidores de neutrones en el material de protección de radiación de neutrones rápidos, tal como boro, litio, etc., reduce la emisión de rayos gamma de hidrógeno del material de protección.

Los neutrones de 14 MeV de generador de neutrones precedente de una reacción DT son más penetrantes que los neutrones Cf-252 como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Niveles de Flujo de Neutrones en Raíles de Cinta de Acero para  $1 \times 10^8$  neutrones/seg

Neutrones	n/cm2/seg Cf-252	n/cm2/seg DT	Relación DT/Cf	Mm de Protección extra para DT
Térmica (<0,1 eV)	8	10	1,3	17,6
Epitérmico (0,1-10 <sup>5</sup> eV)	25	878	35	261,5
Rápido (>10 <sup>6</sup> eV)	40	1987	49	285,7

Por tanto, para hacer coincidir los niveles de flujo de neutrones de un sistema de fuente de neutrones Cf-252 isotópico, un sistema generador DT requiere más de 250 mm de protección extra. Esta protección extra es posible cuando la cinta transportadora es ancha y hay más espacio entre los raíles de cinta. Esto es más difícil con cintas más pequeñas, pero se puede conseguir alguna protección de estructura de cinta utilizando material de protección de neutrones extremadamente eficiente, tal como polietileno puro.

Otro método para reducir el problema de los rayos gamma que son emitidos desde la estructura de soporte de transportador es pintar la estructura de soporte de transportador con pintura absorbente de neutrones para suprimir la absorción del flujo de neutrones térmico. Ejemplos incluyen pintura de Boro/epoxi o pintura de Litio/Epoxi. Una capa de 0,05 mm de espesor de Boro atenúa aproximadamente el 50 % de los neutrones térmicos. Una reducción de un flujo térmico de entrada a menos de un octavo del valor no atenuado requiere más de 0,4 mm de pintura de epoxi borada al 50%. Este método puede ayudar si los elementos estructurales son muy delgados y sólo son excitados por neutrones térmicos producidos externamente. Pero no elimina las señales procedentes de las reacciones de neutrones epitérmicos, por ejemplo la resonancia de 25 KeV procedente del hierro del acero. Tampoco limita los neutrones térmicos producidos internamente en los miembros estructurales por neutrones rápidos debido a que sólo los escudos hidrogenados gruesos reducen los neutrones rápidos. De este modo, para atenuar todos los flujos de neutrones a un octavo se requeriría pintura epoxi hidrogenada de varios centímetros de espesor.

En un ejemplo, las vigas estructurales 14, 15, provistas con al menos 150 mm de polietileno borado como material de protección de radiación están dispuestas alrededor de la caja de fuente de radiación 11 para atenuar los neutrones de salen de la región de emisión de neutrones en al menos un factor de 8. Esto reduce los rayos gamma emitidos por la estructura de soporte de transportador en un factor de 8, que es tan bajo que la alteración de tales rayos gamma emitidos no sea detectad en el análisis del material de la cinta.

Las vigas estructurales 14, 15 también reducen al mínimo el flujo de neutrones en el terreno o un suelo de hormigón debajo de la estructura de soporte de transportador.

Los escudos laterales 24 contienen predominantemente material de protección de radiación. Los escudos laterales 24 están dispuestos fuera de la estructura de soporte de transportador 34, 35, 36 para reducir los flujos de neutrones en los lados del analizador en donde los trabajadores pueden pasar cerca del analizador. Los escudos laterales 24 proporcionan la protección biológica que es necesaria cuando están montadas fuertes fuentes de neutrones de

$2 \times 10^8$  neutrones/seg debajo de la región de activación 30.

El espesor de los escudos laterales 24 es optimizado por la radiación más penetrante de un generador de neutrones, que permite que un analizador sea transportado con fuentes de neutrones isotópicas, por ejemplo Cf-252, y sea modernizado a un generador de neutrones sin tener que cambiar el escudo lateral. Los escudos laterales individuales 24 incluyen láminas de polietileno de hasta un octavo de pulgada de espesor (3,175 mm). Para cintas pequeñas en las que se requieren protecciones laterales de seis pulgadas de espesor (152,4 mm), se pueden apilar vigas estructurales 14, 15, 17, 18, 19 para proporcionar la protección lateral fuera de la estructura de soporte de transportador.

Algunas vigas estructurales 16 están configuradas para definir una depresión adyacente a la región de activación 30 para soportar la cinta transportadora 29 en la configuración a modo de depresión. En algunas realizaciones (no mostradas) las vigas que definen la depresión 16 están apiladas juntas para conseguir una altura deseada.

En algunas realizaciones del conjunto de componentes, algunas de las vigas que define la depresión 16 definen una depresión que tiene paredes laterales que están inclinadas en un primer ángulo de depresión predeterminado; y algunas de las vigas 16 que definen la depresión definen una depresión que tiene paredes laterales que están inclinadas en un segundo ángulo de depresión predeterminado que es distinto del primer ángulo de depresión predeterminado. En una realización, los ángulos de depresión de 20, 25, 30, 35, 40 y 45 grados están definidos por los diferentes pares de vigas 16 que definen la depresión.

Las vigas 16 que definen la depresión, que definen un ángulo de depresión predeterminado son intercambiables con las vigas 16 que definen la depresión que definen un ángulo predeterminado diferente. Esta característica es ventajosa para situaciones en las que es deseable variar el ángulo de depresión de acuerdo con el área de sección transversal del material a granel que está siendo analizado. Por ejemplo, inicialmente un ángulo de depresión de cinta somero, tal como 20 grados, permitirá que los detectores estén más cerca del material a granel 28 sobre la cinta 29 para un análisis más sensible cuando el área de sección transversal sea relativamente pequeña y después ser conmutados a un ángulo de depresión más profundo, tal como 35 grados, cuando el área de sección transversal sea más grande.

En otras realizaciones, las vigas 16 que definen la depresión que están incluidas en el conjunto de componentes definen una depresión que tiene paredes laterales que están inclinadas en solo un ángulo de depresión predeterminado.

Las láminas separadoras 26, 26a contienen predominantemente material de protección de radiación. Las láminas separadoras 26, 26a están dispuestas entre algunas de las vigas estructurales apilables 17, 18 para ajustar la altura del túnel.

Las cintas transportadoras pueden llevar materiales a granel con un rango de tamaño de partículas desde polvo hasta bloques mayores de 300 mm. Cuando un analizador es primero especificado, la luz del túnel es optimizada para ser lo más baja compatible con la luz de la carga de cinta más alta en la práctica. Sin embargo, en los años de funcionamiento a medida que la operación de minería/cantera evoluciona los tamaños de partícula y la profundidad del lecho de material pueden cambiar. Para adaptarse a esta variación, la luz de altura del túnel por encima de la cinta se puede modificar en el campo variando el número de láminas separadoras 26, 26a que están dispuestas entre algunas de las vigas estructurales apilables 17, 18.

Las láminas separadoras 26, 26a se extienden la longitud del analizador en ambos lados en la parte superior del túnel 32. Las láminas separadoras 26, 26a soportan algunas de las vigas de protección superiores 18.

En un ejemplo, las láminas separadoras 16, 26a son láminas de polipropileno de una pulgada de espesor (25,4 mm) de manera que la altura del túnel se puede ajustar en etapas de una pulgada (25,4 mm) También se pueden utilizar otros espesores.

El ajuste de campo de la altura del túnel es posible debido a que las vigas estructurales rígidas 18 del techo del túnel 32 son lo suficientemente fuertes para permitir el uso de gatos hidráulicos externos para elevar y descender el techo mientras son añadidos o retirados separadores.

Incluso aunque las vigas estructurales sean muy fuertes y puedan ser remplazadas sin daño, una realización preferida incluye un barra de choque de acero 37 remplazable, que está dispuesta sobre la entrada del túnel 32 para resistir el impacto inicial de cualquier material con tamaño superior en la cinta transportadora 29. La altura de la barra de choque también es de altura ajustable variando su posición en el bastidor 22 para proteger siempre el techo de túnel 32.

Al menos algunas de las láminas separadoras 26a están dimensionadas para la disposición adyacente a los borde de la cinta transportadora 29 para estar en contacto con los bordes de la cinta transportadora cuando la cinta transportadora está significativamente desalineada. Estas láminas separadoras 26a actúan como materiales sacrificables que pueden ser desgastados por el borde de la cinta desalineada y por lo tanto evitan cualquier daño a la caja de detector de radiación 12. Estas láminas separadoras 26a se pueden remplazar fácilmente durante un

servido rutinario. El grado de penetración de estas láminas separadoras 26a en el túnel de cinta determina la probabilidad de que estas láminas separadoras 26a sean impactadas por una cinta transportadora desalineada 29.

Cuando se utiliza un generador de neutrones, hay una lámpara 38 en la parte superior del analizador 10 para indicar cuando la fuente de radiación está generando neutrones.

- 5 Paneles laterales estéticos 48 están dispuestos en los lados superiores del analizador 10.

La realización de las Figs. 1, 2 y 3 se utiliza principalmente para el análisis de material de minería que tiene un bajo contenido en hidrógeno, y es también útil para el análisis de materiales.

La realización de las Figs. 4, 5 y 6 se utiliza principalmente para el análisis de materiales de minería que tienen un elevado contenido de hidrógeno, y también es útil para el análisis de materiales.

- 10 Haciendo referencia a las Figs. 4, 5 y 6, otra realización de un analizador de material a granel 40 construido con un conjunto de componentes de acuerdo con la presente invención incluye una caja de fuente de radiación 11, una caja de detector de radiación 12, un conjunto de vigas estructurales apilables 14, 15, 16, 17, 18, 19, un bastidor 22, escudos laterales 24 y láminas separadoras 26, 26a. En esa realización, la caja de fuente de radiación 11 está dispuesta encima de la cinta transportadora 29, y la caja de detector de radiación 12 está dispuesta debajo de la
- 15 región de activación 30 en el lado opuesto de la región de activación 30 y la cinta transportadora desde la caja de fuente de radiación 11.

Algunas vigas estructurales 15, 16, 17 están dispuestas entre la región de activación 30 y la estructura de soporte de transportador 34, 35, 36 cuando la caja de detector de radiación 12 está dispuesta debajo de la cinta transportadora 29.

- 20 En un ejemplo, las vigas estructurales 18, 19 que proporcionan al menos 150 mm de polietileno borado como material de protección de radiación están dispuestas alrededor de la caja de fuente de radiación 11 para atenuar los neutrones que salen de la región de emisión de neutrones en al menos un factor de 8. Esto reduce los rayos gamma emitidos por la estructura de soporte de transportador en un factor del menos 8, que es tan bajo que la alteración de tales rayos gamma emitidos no es detectada en el análisis del material sobre la cinta.

- 25 Las vigas estructurales 18, 19 también minimizan el flujo de neutrones en un suelo de hormigón por encima del analizador 40.

- Los escudos laterales, tal como los escudos laterales 24 de la realización de las Figs. 1, 2 y 3, no están incluidos en la realización de las Figs. 4, 5 y 6, en las que la caja de fuente de neutrones 11 está dispuesta encima de la región de activación 30 debido a que los escudos 16 que definen la depresión normalmente proporcionan suficiente protección. Sin embargo, tales escudos laterales pueden estar incluidos en una realización de un analizador de
- 30 material a granel en el que la caja de fuente de neutrones está dispuesta encima de la región de activación.

Las láminas separadoras 26a actúan como materiales sacrificables que pueden ser desgastados por el borde de una cinta desalineada y por tanto evitan cualquier daño en la caja de fuente de radiación 11.

- En una realización, las extensiones de escudo 44 hechas de láminas de cubierta 46 que contiene material de protección de radiación están operacionalmente unidas al bastidor 22 adyacente a los extremos abiertos del túnel 32 y dispuestas encima y en los lados de la cinta transportadora 29 para restringir la corriente de radiación debajo de la
- 35 línea de la cinta transportadora 29 desde las aberturas del túnel. Las extensiones de escudo 44 esencialmente alargan la disposición del material de protección de radiación. Las extensiones de escudo 44 son de peso relativamente ligero. En una realización, las láminas de cubierta 46 son láminas de polipropileno de dos pulgadas de
- 40 espesor (50,8 mm).

- La radiación de fuga de abertura es un problema cuando se hacen analizadores PGNA más cortos y/o más ligeros. Las extensiones de escudo 44 son usadas con una realización de un analizador de material a granel PGNA 40 en el que el túnel 32 es de 1800 mm de longitud. En analizadores de material a granel PGNA tradicionales, el túnel típicamente tiene una longitud comprendida entre 2100 y 2400 mm. Las extensiones de escudo 44 disminuyen la
- 45 dosis de radiación a cualquiera de camine a lo largo de la cinta transportadora cerca del analizador. Las extensiones de escudo 44 son particularmente útiles para todo analizador que utilice las fuentes de neutrones máximas permitidas. Las extensiones de escudo 44 son esenciales para aplicaciones de túnel ancho con grandes fuentes de neutrones.

- Un ejemplo específico incluye una extensión de protección 44 de 600 mm de longitud en ambos extremos de un
- 50 túnel de 1800 mm de longitud de un analizador PGNA. Esto hace posible una intensidad de fuente de  $2 \times 10^8$  neutrones por segundo.

El uso de tal extensión de escudo con la realización del analizador de material a granel mostrado y descrito con referencia a las Figs. 1-3 también es opcional.

Una barra de choque de acero reemplazable 37, tal como la incluida en la realización descrita con referencia a las



Figs. 1-3, no está incluida en ninguna de las realizaciones descritas aquí en las que una extensión de escudo, tal como se muestra en la Fig. 4, está unida al bastidor 22 adyacente a los extremos abiertos del túnel 32.

Los paneles laterales estéticos 48, 49 están dispuestos en los lados superior e inferior del analizador 40.

5 En otros aspectos, el analizador de material a granel 40 es el mismo que el analizador de material a granel 10 descrito anteriormente con referencia a las Figs. 1, 2 y 3.

Los beneficios específicos mencionados aquí no se aplican necesariamente a cada realización concebible de la presente invención. Además, tales beneficios de la presente invención son sólo ejemplos y no deben ser interpretados como los únicos beneficios de la presente invención.

10 Aunque la descripción anterior contiene muchos elementos específicos, éstos no deben interpretarse como limitaciones del campo de la presente invención, sino como ejemplos de las realizaciones preferidas descritas aquí. Son posibles otras variaciones y el campo de la invención debería quedar determinado no por las realizaciones descritas aquí sino por las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de componentes para construir un analizador de material a granel (10) del tipo que se utiliza para analizar material a granel (28) transportado en una cinta transportadora (29) a través de una región de activación (30) situada en un túnel (32) entre al menos una fuente de radiación y al menos un detector de radiación dentro del analizador de material a granel (10), comprendiendo dicho conjunto:  
una caja de fuente de radiación (11) para la disposición o bien encima de la región de activación o bien debajo de la cinta transportadora (29);  
una caja de detector de radiación (12) para la disposición o bien debajo o bien encima de la caja de fuente de radiación (11) en el lado opuesto de la región de activación (30) y la cinta transportadora (29) desde la caja de fuente de radiación (11); y caracterizado por que el conjunto comprende también:  
un conjunto de vigas estructurales apilables (14, 15, 16, 17, 18, 19) que principalmente contienen material de protección de radiación y están configuradas para apilarse alrededor de la región de activación (30), la caja de fuente de radiación (11) y la caja de detector de radiación (12) para evitar que radiación no deseada sea generada y transportada a la caja de detector de radiación (12) cuando dichas cajas (11, 12) están dispuestas en los lados opuestos de la región de activación (30) y la cinta transportadora (29) una con relación a la otra; y  
un bastidor (22) para soportar los extremos de al menos alguna de las vigas estructurales (14, 15, 16, 17, 18, 19) cuando las vigas (14, 15, 16, 17, 18, 19) están así apiladas;  
en el que el bastidor está adaptado para montarse sobre una estructura de soporte de transportador existente (34, 35, 36) sin retirar o modificar sustancialmente ninguna parte de la estructura de soporte de transportador existente (34, 35, 36).
2. Un conjunto de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que el conjunto de vigas estructurales (14, 15, 16, 17, 18, 19) que contienen material de protección de radiación están dimensionadas de manera que al menos algunas de las vigas estructurales (14, 15, 16, 17, 18, 19) pueden estar dispuestas paralelas el eje longitudinal de la cinta transportadora (29) y lateralmente entre la caja de fuente de radiación (11) y la estructura de soporte de transportador (34, 35, 36) cuando la caja de fuente de radiación (11) está dispuesta debajo de la cinta transportadora (29).
3. Un conjunto de acuerdo con la Reivindicación 2, que además comprende una pluralidad de escudos laterales (24) de material de protección de radiación para su disposición fuera de la estructura de soporte de transportador (34, 35, 36) para reducir los flujos de neutrones en los lados del analizador con respecto al eje longitudinal de la cinta transportadora (29).
4. Un conjunto de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que algunas vigas (16) están configuradas para definir una depresión adyacente a la región de activación (30) para soportar el transportador en una configuración a modo de depresión.
5. Un conjunto de acuerdo con la Reivindicación 4, en el que algunas vigas (16) que definen la depresión definen una depresión que tiene paredes laterales que están inclinadas en un primer ángulo de depresión predeterminado; y  
en donde algunas vigas (16) que definen la depresión definen una depresión que tiene paredes laterales que están inclinadas en un segundo ángulo de depresión predeterminado que es distinto del primer ángulo de depresión predeterminado.
6. Un conjunto de acuerdo con la Reivindicación 1, que comprende además una pluralidad de láminas separadoras (26, 26a) de material de protección de radiación para la disposición entre algunas de las vigas apilables (14, 15, 16, 17, 18, 19) para ajustar la altura del túnel (32).
7. Un conjunto de acuerdo con la Reivindicación 6, en el que al menos una de las láminas separadoras (26, 26a) está dimensionada para la disposición junto a los bordes de la cinta transportadora (29) para estar en contacto con los bordes de la cinta transportadora (29) cuando la cinta transportadora (29) está sustancialmente desalineada.
8. Un conjunto de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que las vigas estructurales (14, 15, 16, 17, 18, 19) comprenden tubos huecos, que están rellenos de material de protección de radiación.
9. Un analizador de material a granel (10) del tipo utilizado para analizar material a granel (28) transportado en una cinta transportadora (29) a través de una región de activación situada en un túnel (32) entre al menos una fuente de radiación y al menos un detector de radiación dentro del analizador de material a granel (10), comprendiendo dicho analizador:

una caja de fuente de radiación (11) dispuesta o bien encima de la región de activación (30) o bien debajo de la cinta transportadora (29);

5 una caja de detector de radiación (12) dispuesta o bien debajo o bien encima de la caja de fuente de radiación (11) en el lado opuesto de la región de activación (30) y la cinta transportadora (29) desde la caja de fuente de radiación (11); y caracterizado porque el conjunto comprende además:

10 un conjunto de vigas estructurales apilables (14, 15, 16, 17, 18, 19) que contienen principalmente material de protección de radiación y apiladas en la región de activación (30), la caja de fuente de radiación (11) y la caja de detector de radiación (12) para evitar que radiación no deseada sea generada y transportada a la caja de detector de radiación (12); y

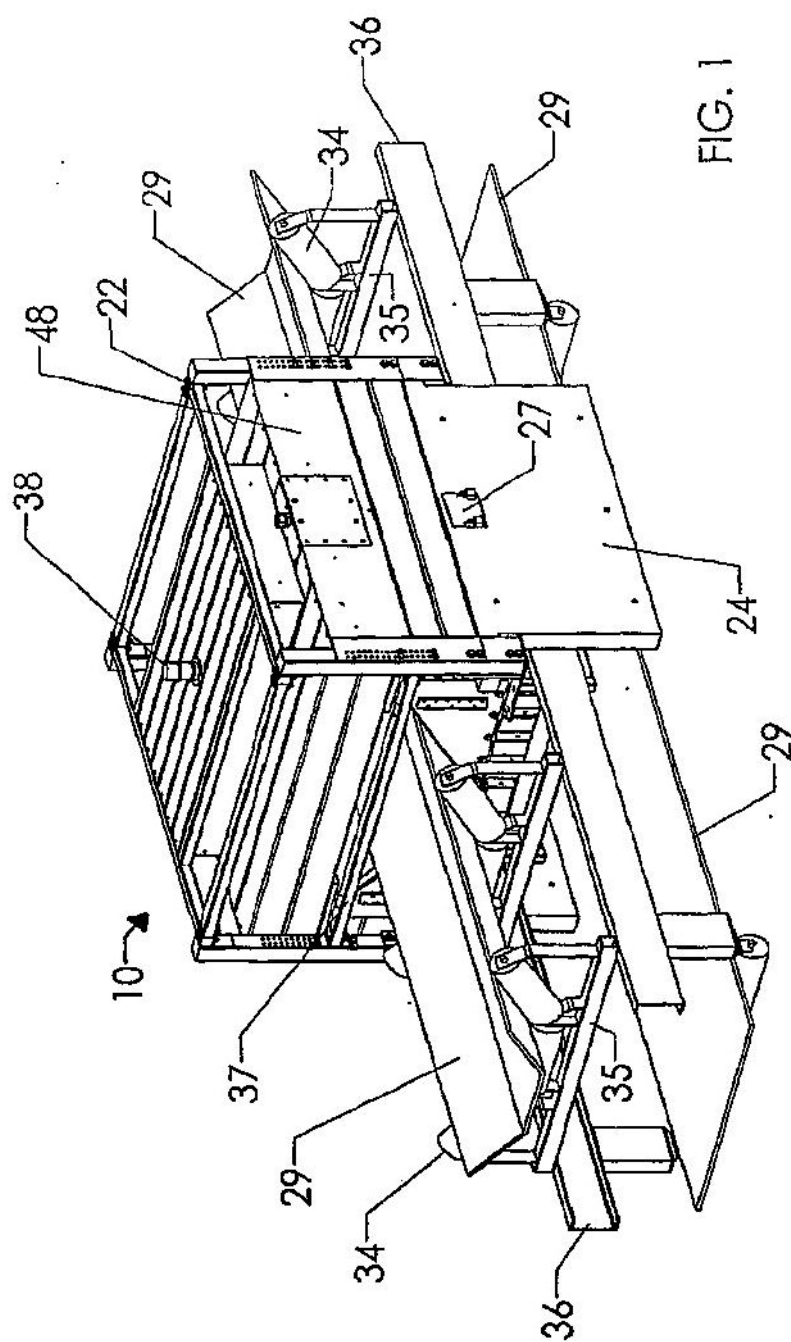
15 un bastidor (22) que soporta los extremos de al menos alguna de las vigas estructurales apiladas (14, 15, 16, 17, 18, 19);

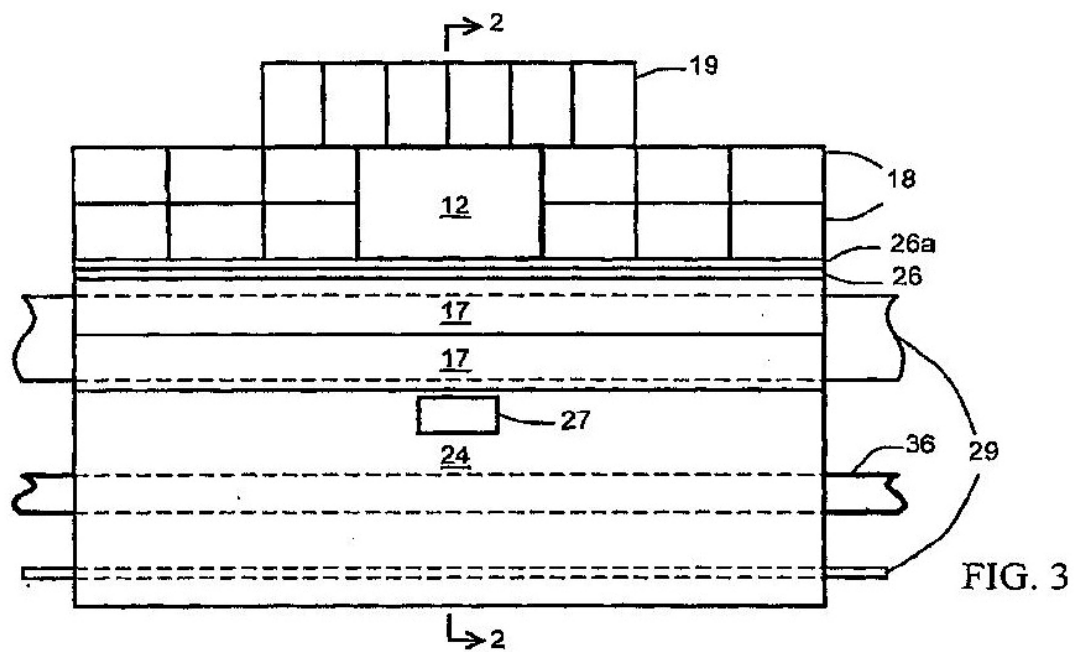
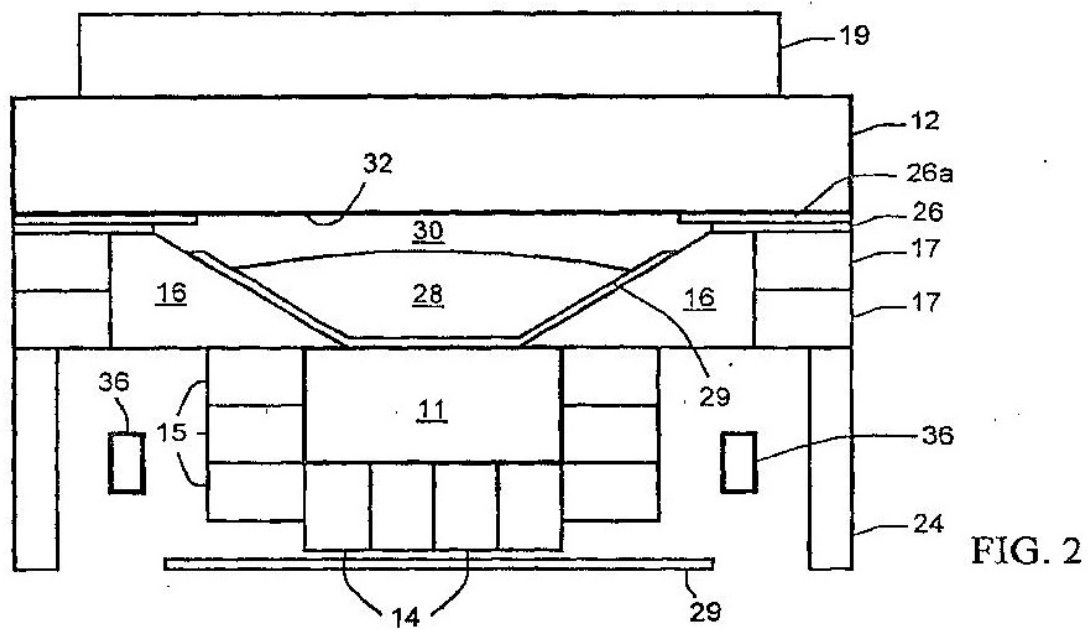
en el que el bastidor (22) está montado en la estructura de soporte de transportador (34, 35, 36) sin retirar ni modificar sustancialmente ninguna parte de la estructura de soporte de transportador existente (34, 35, 36).

20 10. Un analizador de material a granel (10) de acuerdo con la Reivindicación 9, en el que al menos algunas de las vigas estructurales (14, 15, 16, 17, 18, 19) están dispuestas paralelas al eje longitudinal de la cinta transportadora (29) y lateralmente, entre la caja de fuente de radiación (11) y la estructura de soporte de transportador (34, 35, 36) cuando la caja de detector de fuente (12) está dispuesta debajo de la cinta transportadora (29).

25 11. Un analizador de material a granel (10) de acuerdo con la Reivindicación 10, que además comprende una pluralidad de escudos laterales (24) de material de protección de radiación dispuestos fuera de la estructura de soporte de transportador (34, 35, 36) para reducir los flujos de neutrones en los lados del analizador con respecto a los ejes longitudinales de la cinta transportadora (29).

30





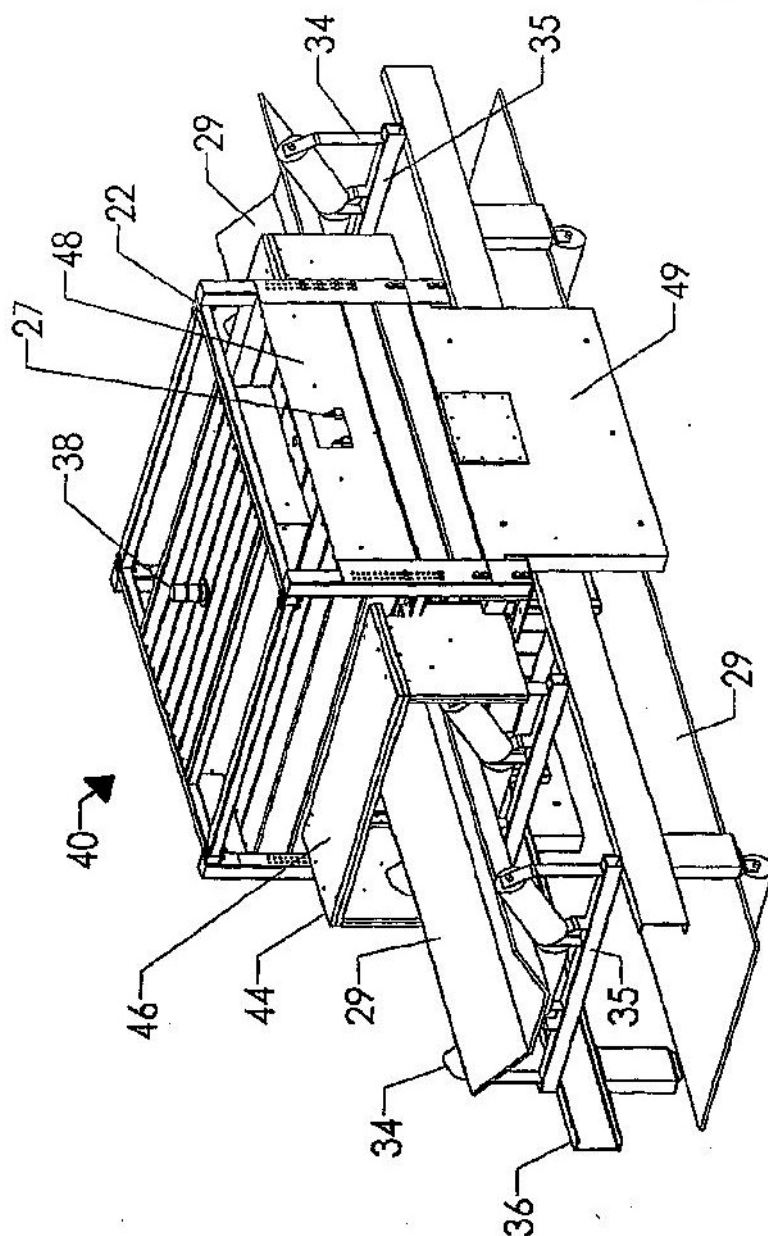


FIG. 4

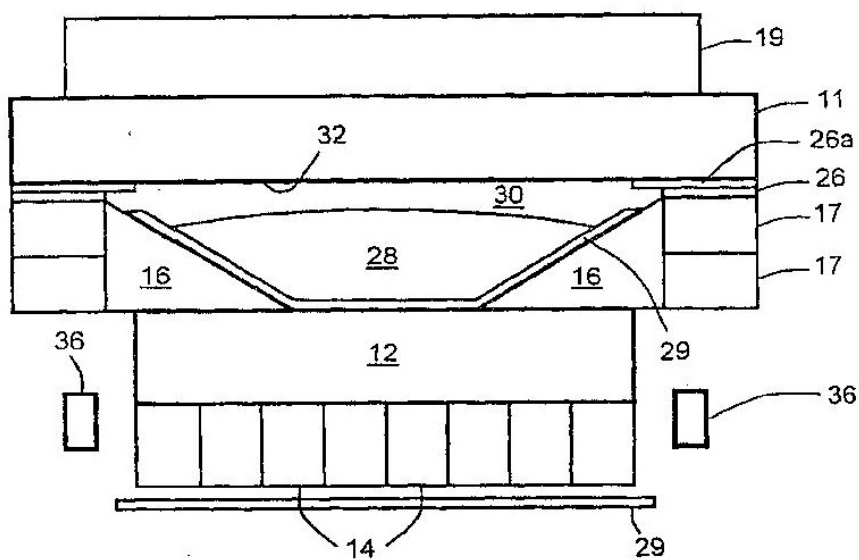


FIG. 5

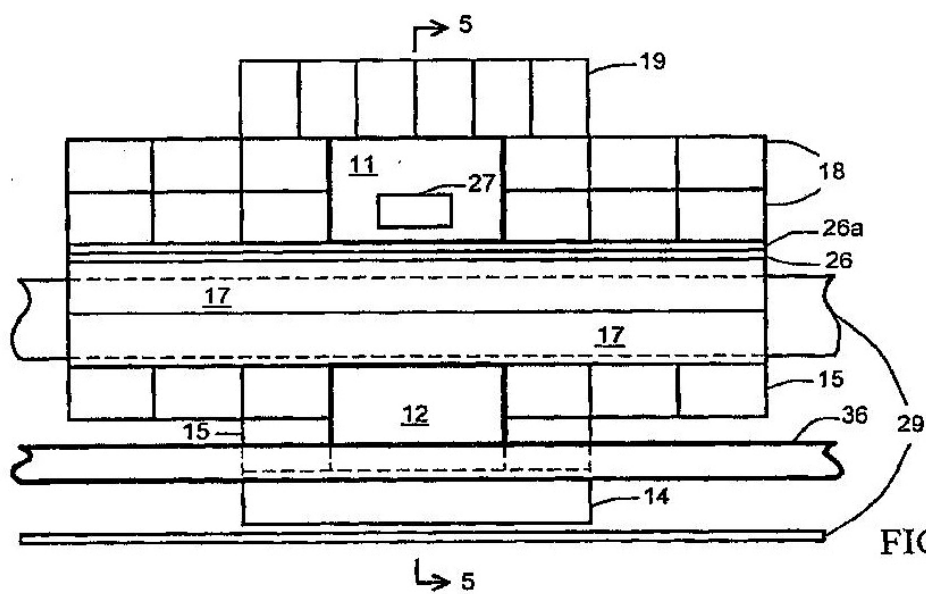


FIG. 6